Postverlagsort Düsseldorf

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG VON

J. BARTELS E. BEDERKE H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS H. v. FICKER R. GRAMMEL O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD EUCKEN

SPRINGER-VERLAG IN BERLIN UND GÖTTINGEN

34. JAHRGANG | HEFT 12 (353—376) | 1947

INHALT:

Zum Problem der historischen Diagnose. Von B. v. Hagen 353

Über den derzeitigen Stand der Theorie des Hörens Von E. Meyer 358

Probleme der pflanzlichen Dürreresistenz. Von O. Stocker 362

Kurze Originalmitteilungen.

Präionisation in den Tagesschichten der Ionosphäre. Von E. Theissen 371

Über farbloses kubisches Siliciumcarbid. Von B. Reuter und H. Knoll 372

Ein einfaches Verfahren zur Herstellung strukturloser Trägerschichten aus Aluminiumoxyd. Von W. Walkenhorst 373

Ein Modell für die gehemmte chemische Adsorption hydroxylhaltiger Stoffe an γ-Al_2O_3. Von A. Eucken 374

Krystallisation des Gynotermons von Chlamydomonas. Von R. Kuhn und I. Löw. 374

Berichte.

Die Gitterkonstante kleiner Kristalle. Von H. König 375

Bandtitelei.

Verzeichnis der größeren Aufsätze und Berichte III

Autorenregister IV

Sachregister VI

Buchbesprechungen VIII

Ausgegeben im August 1948.

Zeitschrift für Physik

Herausgegeben unter Mitwirkung der **Deutschen Physikalischen Gesellschaft** in der britischen Zone.

Von **M. von Laue** und **R. W. Pohl**

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge in einzeln berechneten Heften; 12 Hefte bilden einen Band.

124. Band, 3. bis 6. Heft

Mit 82 Textfiguren. 266 Seiten. 1948. 24.— Mark

Inhaltsverzeichnis: Der Diffusionsthermoeffekt. II. Von *L. Waldmann.* - Integral- und Reihendarstellungen für die verschiedenen Wellentypen der mathematischen Physik in den Koordinaten des Rotationsparaboloids. Von *H. Buchholz.* - Über den Zusammenhang von Thermokraft und Halleffekt mit dem lichtelektrischen Effekt beim natürlichen Bleiglanz. Von *K.-H. Legrand.* - Energiefragen beim künstlich radioaktiven ^{76}Arsen. Von *K. Philipp* und *Fr. Rehbein.* - Ein Massenspektrometer zur Bestimmung von Isotopen-Mischungsverhältnissen. Von *P. Wolfgang.* - Über die Gefügeänderung von Kristalloberflächen durch Bearbeitung abhängig von der Härte. Von *K.-H. Leise.* - Aufheizung und Abkühlung der Anodenflamme des Kohlebogens. Von *E. Rohloff.* - Die elektrische Leitfähigkeit von mikrokristallinem hexagonalem Selen mit Thallium-Zusatz. Von *K. Lehovec.* - Über die Struktur mechanisch bearbeiteter Oberflächen. Von *H. Raether.* - Die Leistungsgrenze thermischer Strahlungsmeßinstrumente. II. Von *G. Heitner.* - Denkschrift über die Einführung neuer elektrischer Einheiten. Über eine kalorimetrische Kompensationsmethode zur Bestimmung der Werte von Ampere und Volt im Giorgi'schen Maßsystem. Von *H. von Steinwehr.* - Die lichtelektrischen Eigenschaften von Alkalischichten atomarer Dicke. Die Vielschichten-Photozelle. Von *H. Mayer.* - Verdampfung, Kondensation, Sättigungsdruck und kritischer Punkt im Modellversuch und für den Unterricht gefilmt. Von *H. Stuart.* - Protonen als primäre Komponente der kosmischen Strahlung. I und II. Von *K.-H. Höcker.* - Über die Strukturabweichungen in den Oberflächen von Ionenkristallen. I und II. Von *I. Stranski* und *K. Molière.*

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen vorerst etwa halbmonatlich und können durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden. Preise für 12 Hefte mit zusammen etwa 24 Druckbogen 24.— Mark, für das einzelne Heft 2.50 Mark zuzüglich Postgebühren.

Nachdruck: Der Verlag behält sich das ausschließliche Recht der Vervielfältigung und Verbreitung aller in dieser Zeitschrift zum Abdruck gelangenden Beiträge sowie ihrer Verwendung für fremdsprachliche Ausgaben vor.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anzeigen werden vom Springer-Verlag, Berlin-Charlottenburg 2, Jebensstraße 1, angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag

Berlin-Charlottenburg 2 Jebensstraße 1 — **Göttingen** Weender Straße 60

Redaktionelle Hinweise.

I Allgemeines.

1. Bei der Einsendung von Manuskripten an „Die Naturwissenschaften" bittet die Redaktion die Herren Autoren, stets im Auge zu behalten, daß die Zeitschrift in erster Linie den Wünschen und Interessen des weiten Kreises ihrer Leser zu dienen hat und daß daher ihnen gegenüber Sonderwünsche der Herren Autoren in bezug auf Inhalt, Form und Umfang ihrer Veröffentlichungen zurücktreten müssen, falls die Redaktion dies für erforderlich hält.

2. Vor allem bittet die Redaktion, von der Einsendung von Aufsätzen Abstand zu nehmen, die nur für einen begrenzten Leserkreis verständlich und von Interesse sind, und die daher in einer Fachzeitschrift ihren richtigen Platz haben. Ausnahmen bilden knapp gefaßte Schilderungen der Ergebnisse eben fertiggestellter Arbeiten; für diese ist die Rubrik „K.O.M." („Kurze Originalmitteilungen") vorgesehen. Wegen Platz- und Papiermangels sind allerdings auch hier gewisse Einschränkungen nötig. In Bezug auf den Inhalt: Angenommen werden können nur wirklich wichtige Arbeiten (z. B. keine bloßen Analogiearbeiten). In bezug auf den Umfang: Im Durchschnitt kann für eine einzelne K.O.M. nur der Raum einer Spalte (etwa 1000 Silben) zur Verfügung gestellt werden.

3. Autoren, namentlich solche, welchen die Gepflogenheiten bei Veröffentlichungen in den „Naturwissenschaften" noch nicht bekannt sind, werden gebeten, in die ausführlichere Darstellung der allgemeinen redaktionellen Richtlinien Einblick zu nehmen, welche in Heft 1 des vorangehenden Jahrgangs abgedruckt sind. Ergänzend sei hier bemerkt, daß die Rubrik „Tagesnotizen" in Zukunft nicht fortgeführt wird, daß also Einsendungen für diese zwecklos sind.

II. Spezielle Hinweise.

Alle Sendungen und Zuschriften sind zu richten an:

Redaktion der Naturwissenschaften,

(20b) Göttingen, Bürgerstraße 50.

In sämtlichen Fällen erhalten die Autoren eine Bestätigung über das Eintreffen von Manuskripten sowie über deren Annahme oder Ablehnung. In den Aufsätzen sind seltene und nur einem kleinen Leserkreis verständliche Fachausdrücke nach Möglichkeit zu vermeiden oder in einer Fußnote kurz zu erläutern. Literaturzitate sind fortlaufend zu numerieren; die angeführten Arbeiten werden dann in einem Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Bei Erläuterung des Textes durch Figuren ist überflüssiger Aufwand zu vermeiden. Figurenvorlagen für Strichätzungen sind so sorgfältig herzustellen, daß nach ihnen ohne weitere Rückfragen Reinzeichnungen angefertigt werden können. Diese werden zur Zeitersparnis den Autoren im allgemeinen nicht vorgelegt, sondern seitens der Redaktion kontrolliert.

Bei photographischen Abbildungen (Autotypien) kann das Druckergebnis auf dem heute zur Verfügung stehenden Papier nur in seltenen Fällen wirklich befriedigen. Es ist deshalb ratsam, Autotypien nach Möglichkeit zu vermeiden. In vielen Fällen läßt sich das Wesentliche durch eine Zeichnung ebensogut zeigen.

Korrekturen.

Die Autoren erhalten in jedem Fall eine Fahnenkorrektur, deren umgehende Erledigung und Rücksendung (mit einem Vermerk, ob der Beitrag druckfertig oder eine Revision erforderlich ist) erbeten wird.

Ingenieur-Archiv

Unter Mitwirkung von **A. Betz, A. Hertwig, K. Klotter, E. Schmidt, E. Sörensen**
Herausgegeben von **R. Grammel**

Das „Ingenieur-Archiv" erscheint in zwangloser Folge in einzeln berechneten Heften.

XVI. BAND, DRITTES u. VIERTES HEFT

Mit 119 Abbildungen und 15 Zahlentafeln und Tabellen.
140 Seiten. 1948. 24.— Mark

Inhaltsverzeichnis: Versuche zur Bestimmung der Feinheit und des Widerstandes schwebender staubförmiger Körper. Von *W. Barth.* - Die dreiseitig gelagerte Rechteckplatte (II. Mitteilung). Von *K. Goriupp.* - Anwendung der Henckyschen Sätze über das Gleichgewicht in plastischen Körpern auf die technischen Formgebungsverfahren. Von *E. Siebel.* - Ein Differenzenverfahren zur Berechnung laminarer Grenzschichten. Von *H. Görtler.* - Eine Verallgemeinerung der Kreis- und Hyperbelfunktionen. Von *R. Grammel.* - Ein Näherungsverfahren zur Berechnung der laminaren Reibungsschicht mit Absaugung. Von *H. Schlichting.* - Die Formänderungsenergiesätze in Anwendung auf den elastisch-plastischen Zustand. Von *W. Swida.* - Über einen Energiesatz zur Berechnung laminarer Grenzschichten. Von *K. Wieghardt.* - Anwendung des Energiesatzes von Wieghardt auf einparametrige Geschwindigkeitsprofile in laminaren Grenzschichten. Von *A. Walz.* - Einfluß der Elastizität der Gase auf die Wirkung von Schaufelgittern. Von *A. Betz.* - Ein neues Kriterium für den Verlauf der Dampfdruckkurve am kritischen Punkt. Von *R. Plank* und *L. Riedel.* - Praxis des spannungsoptischen Versuchs mit Dekorit als Modellwerkstoff. Von *E. Mönch.*

SPRINGER-VERLAG · BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

34. Jahrgang · Heft 12*) 1947

Zum Problem der historischen Diagnose.

Von B. v. Hagen, Jena.

Unter historischer Diagnose verstehen wir den Versuch, bei nicht mehr lebenden, also historischen Persönlichkeiten, eine wissenschaftlich einwandfreie Diagnose zu stellen. Ob es sich dabei um die Feststellung handelt, welche Art von Erkrankung diese oder jene bloß literarisch überlieferten Symptome auslösten oder, wie in der Mehrzahl der Fälle, um die Aufklärung der Todesursachen, ob wir ein Sektionsprotokoll (wie bei Schiller) oder wertvolle Aufzeichnungen von Angehörigen (wie bei Hegels Tod) vor uns haben, es besteht ein Anreiz, auf Grund sorgfältiger Interpretation solcher Quellen zu einer Diagnose zu gelangen. Das gilt wie für den philologisch geschulten Historiker so für den historisch arbeitenden Mediziner. Beide haben sich oft genug in dieser Richtung bemüht, nicht immer mit Erfolg, oft mit Scheinerfolg, meistens ohne Erfolg. Sind also die Aussichten, das Ziel zu erreichen, gering, so darf die ungünstige Prognose nicht abschrecken. Je ferner die Zeiten, aus denen Nachrichten über Todesart oder Krankheitserscheinungen stammen, desto größer die Schwierigkeiten. Indessen — die Untersuchungen W. H. Veils über „Goethe als Patient" und „Schillers Krankheit" zeigen immer wieder, wieviel Gestrüpp schon in dem kurzen Zeitraum eines Jahrhunderts gewachsen ist, das es zu beseitigen gilt, um tragfähige Fundamente zu gewinnen, auf denen sich bauen läßt. Hat doch selbst bei Nietzsche († 1900), über dessen Erkrankung genaueste Klinikakten vorliegen, der Wunsch (seiner Schwester z. B.), ihn von „belastender" Krankheit freizusprechen, gegenüber der historischen Wahrheit geradezu verhängnisvoll gewirkt.

Die Geschichte der Medizin lehrt uns, wie verschlungene Wege die Kunst der Diagnostik zurückgelegt hat und wieviel heute an geistiger Kraft und technischer Hilfe benötigt wird, um eine Differentialdiagnose zu stellen, d. h. mit absoluter Sicherheit ähnliche oder ähnlich scheinende Krankheiten diagnostisch auszuschalten und so die echte Diagnose nach allen Seiten stabil und angriffssicher zu machen — eine Kunst, die Antike und Mittelalter nicht besessen haben und die selbst in unseren Tagen noch Fehlerquellen mannigfaltiger Art einschließt. Die Problematik der *historischen* Diagnose ist also sehr groß. An Beispielen aus der *Antike* tritt die Größe der Schwierigkeiten am deutlichsten in Erscheinung. Die folgenden Beispiele, in bunter Fülle ausgewählt, wollen die Vielfältigkeit und Gefahren jenes Problems vom historischen, medizinischen und medizinhistorischen Standpunkt aus, je nach Lage des Falles, beleuchten. Scharfe Kritik ist überall notwendig. Nichts ist hier so verpönt, wie die Einstellung, die aus dem Römerwort spricht: quae volumus, credimus libenter.

I.

Die Frage, woran der greise Rhetor und Publizist Isokrates im Jahre 338 v. Chr. gestorben ist, hat schon das Altertum beschäftigt. Die Legende berichtet, er habe sich nach der Schlacht von Chaironeia, die Philipp von Makedonien Sieger werden ließ und Hellas die Freiheit kostete, aus Verzweiflung durch Hunger umgebracht. Ich habe schon 1908 (Philologus LXVII N. F. XXI) nachgewiesen, daß es sich hier um eine Fabel handelt, geschaffen, um den feststehenden Tod im antiphilippischen Sinne zu deuten, also den Isokrates zum Märtyrer zu machen. Die Legende stammt zweifellos aus dem Nachlaß des Isokrates, nämlich aus seiner letzten Schrift Panathenaikos (§ 267f.). Nach seinen eigenen Worten daselbst hat sich Isokrates (im hohen Alter von 95 bis 98 Jahren!) drei volle Jahre mit einer Krankheit gequält, die „man aus Gründen der Schicklichkeit nicht nennt", einer Krankheit, „die alte Leute in 3 oder 4 Tagen bezwingen kann, aber auch viele in voller Manneskraft". Dabei rühmt er sich seiner *καρτερία*, was nicht nur Standhaftigkeit, sondern ebensogut auch Enthaltsamkeit bedeuten kann. Man sprach von der Enthaltsamkeit des Isokrates und bewunderte seine Zähigkeit, obwohl er ganz von Kräften gekommen war. Ich nehme als sicher an, daß es sich um eine schwächende Darmstörung (Dysenterie, Diarrhoe) gehandelt hat und daß sich Isokrates in jenen Jahren möglichst der Nahrung enthielt. Ganz eindeutig ergibt sich, daß die Bemerkung des Isokrates, jene Krankheit bringe alte Leute in 3 bis 4 Tagen zur Strecke, in der (späteren) Legende auf das *Fasten* übertragen worden ist. Isokrates war 98 Jahre alt, als er starb, und hat im letzten Lebensjahre noch den Panathenaikos vollendet, eine Leistung, auf die er nicht mit Unrecht stolz war. Er starb an Erschöpfung infolge der ihm selbst peinlichen Darmerkrankung, war aber bis zuletzt kräftig und geistig rege, gehört also in ein Buch über Makrobiotik. Für athenische Patrioten im Sinne des Demosthenes mußte die promakedonische Grundeinstellung des Isokrates — die durch Chaironeia ihre Erfüllung erfuhr! — in nationalistischer und moralisierender Tendenz beseitigt, d. h. ins Gegenteil verkehrt werden. Deshalb hat sich die Legende der von Isokrates persönlich erwähnten letzten Krankheit bemächtigt und daraus die Fabel von seinem „heroischen" Hungertode gemacht. Rätselhaft bleibt, inwiefern Isokrates 3 Jahre eine ruhrähnliche Erkrankung ausgehalten hat. Hier muß die bekannte Eitelkeit des Isokrates einen kleinen Abstrich machen. Er war ungewöhnlich zäh und schaffte bis zum 98. Lebensjahre, er übertreibt aber, was die Schwere der Krankheit anlangt, um seine Zähigkeit ins rechte Licht zu rücken. Meines Erachtens hat es sich um eine *gularlige Dysenterie* oder *Diarrhoe* gehandelt. Ein Ergebnis, das medizingeschichtlich nicht allzuviel besagt, das aber historisch wertvoll ist, denn es zeigt, welcher Mittel sich — zu allen Zeiten — die politisierende Geschichtsschreibung bedient hat.

II.

Arthur Drews sagt in seinem bekannten Buche über Plotin S. 55: „Gegen das Ende seines Lebens befiel den Philosophen eine heftige Krankheit, die ihn nötigte, den Beruf als Lehrer aufzugeben und sich

*) *Ausgegeben im August 1948.*

auf das Landgut seines Freundes Zethus in der Nähe von Minturnae in Kampanien zurückzuziehen. Hier starb er, 66 Jahre alt, im Jahre 270 n. Chr., zur Zeit der Regierung des Kaisers Claudius." Der fast zeitgenössische Biograph des Plotin, Porphyrios (233 bis 305), erzählt, wie sich allmählich (*κατ' ὀλίγον*) eine schlimme Kynanche herausgebildet habe, die chronisch wurde (das bedeutet nämlich *τὴν τοῦ κυνάγχου ἀγριότητα κατασκευαζομένην ἔσχε*). Das Übel sei nach Mitteilung seines Freundes und Arztes Eustochios, der bis zu Plotins Tode bei ihm aushielt, so schlimm geworden, daß ihm auch „der Wohllaut und -klang der Stimme genommen wurde, da er heiser war", und ferner „die Sehkraft getrübt wurde und Hände und Füße vereiterten". Alle seine Schüler hätten sich von ihm zurückgezogen, weil er sie bei jeder Begegnung auf den Mund zu küssen pflegte. Über diese Krankheit hat Hans Oppermann „Plotins Leben", Heidelberg 1929, gehandelt und die historische Diagnose zu stellen versucht. Ich vermag indessen seine Ansicht nicht zu teilen. Denn Oppermann zog, weil er mit den Symptomen, die Porphyrios mitteilt, zu keinem Ergebnis kam, einen zweiten, viel späteren Krankheitsbericht des (347 zum Christentum übergetretenen) Firmicus Maternus heran und gibt ihm vor Porphyrios den Vorzug. Dieser lateinisch geschriebene Bericht ist meines Erachtens nicht geeignet, um zu einer Diagnose zu gelangen. Denn er ist ziemlich allgemein gehalten, stark rhetorisch gefärbt, verrät nirgends medizinische Herkunft, liest sich vielmehr wie eine lateinische Paraphrase der griechischen Originalaufzeichnung des Porphyrios. Von den bei Porphyrios erwähnten Krankheitssymptomen kehren bei Firmicus wieder: die Trübung der Sehkraft und die Geschwüre, die ihn bis zum Verlust von Gliedern zersetzten und entstellten. Oppermann hat unrecht, wenn er behauptet, der Bericht des Firmicus sei wertvoll und stamme nicht aus Porphyrios. Namentlich aus § 20f. des Firmicus ist die Wertlosigkeit der phrasenreichen Krankheitsschilderung zu ersehen. Ich vermag daher die Oppermannsche These, Plotin sei an elephantiasis Graecorum, d. h. an Lepra gestorben, nicht anzunehmen, halte vielmehr Porphyrios für den Originalbericht, der allein Anspruch auf Deutung hat. Eingehende Untersuchungen zu der von Porphyrios selbst gegebenen Diagnose Kynanche, insbesondere zu der umfangreichen und gründlichen Darstellung der Symptomatologie der Kynanche bei dem Arzte Aretaios Kappadox *περὶ αἰτιῶν καὶ σημείων ὀξέων καὶ χρονίων παθῶν* I 7 haben mich indessen zu keinem positiven Ergebnis kommen lassen. Denn die vorzügliche Schilderung bei Aretaios (2. Jahrh. n. Chr.) paßt einfach nicht zu der von Porphyrios überlieferten Pathologie des Plotin. Mit einer an Hippokrates erinnernden Meisterschaft schildert Aretaios die Symptome der Kynanche (auch Synanche genannt, lat. canina angina). Darnach sind entzündet die Mandeln, der Kehldeckel, der Schlund, das Zäpfchen und der oberste Teil der Trachea (Luftröhre). Das Gesicht ist geschwollen. Die Augen sind hervorstehend, erweitert und gerötet. Brust und Herz werden affektiert. Es besteht starkes Verlangen nach kühler Luft, die aber wegen der starken *Beengung* des Durchgangs (daher *κυνάγχη*, *ang*ina!) nur in geringen Mengen eingeatmet werden kann. Von Abszessen „neben den Ohren" oder „an den Mandeln" ist die Rede, aber *nirgends* von Trübung der Sehkraft oder gar von gangraenoesen Prozessen an Händen und Füßen, wie sie Porphyrios schildert.

Das Ergebnis ist also negativ geblieben, weil es nicht möglich war, die von Porphyrios aufgezählten Krankheitssymptome in Einklang mit der besten Darstellung der antiken Medizin zu bringen. Zudem war Kynanche für die antike Medizin eine akute Krankheit (wie für uns heute die Angina oder Diphtherie), während es sich im Porphyriosbericht um ein chronisches, langsam fortschreitendes Leiden handelt. Die innere Medizin müßte, wenn man wirklich eine historische Diagnose erreichen will, folgende Fragen beantworten: 1. Gibt es chronische Formen der Angina? 2. Gibt es gangraenoese Formen — und zwar Gangraen an Händen und Füßen — im Gefolge einer bösartigen Angina? 3. Kennt die heutige Medizin den von Aretaios erwähnten Zustand der über Zähne und Lippen (wie beim Hunde, der ja einen kurzen Atem hat) heraushängenden Zunge? 4. Was versteht man *heute* unter Kynanche (oder Synanche)? Ehe nicht von dieser Seite ein fachmännisches Gutachten vorliegt, kann nicht behauptet werden, daß wir die Todesursache des Philosophen Plotin kennen. Vielleicht könnte man an die sogenannte Raynaudsche Krankheit denken, bei der es zu gangraenoeser Abstoßung ganzer Fingerglieder kommt (Mitteilung von Prof. J. Grober).

III.

Daß Perikles im Jahre 429, im 3. Jahre des peloponnesischen Krieges, das Opfer jener furchtbaren Seuche geworden ist, die das übervölkerte, als Festung verteidigte Athen heimsuchte, hat Thukydides in wahrhaft klassischer Weise geschildert. Fast alle Darstellungen der griechischen Geschichte, auch die neueste von Helmut Berve, lassen ihn an der *Pest* sterben, weil *λοιμός*, welches Wort Thukydides braucht, nicht nur mit Seuche, sondern mit Pest, Pestilenz übersetzt zu werden pflegt. In Zusammenarbeit mit dem Internisten W. H. Veil konnte ich den Nachweis erbringen, daß diese Seuche keine Pest war — weder Lungenpest, noch Bubonenpest —, sondern eine Pockenepidemie[1]). Gelang es bei Plotin, obwohl Porphyrios die Diagnose Kynanche bietet, *nicht*, die historische Diagnose mit absoluter Zuverlässigkeit zu stellen, so mußte bei Thukydides, der *keine* Diagnose gibt, wohl aber eine unerhört genaue Aetiologie und Symptomatologie der Seuche, die Zehntausenden damals in der Sommerglut das Leben kostete, unter allen Umständen der Vorstoß zur Diagnose gewagt werden. Denn Thukydides ist selbst von der Seuche erfaßt worden, hat sie aber überstanden und hat „andere leiden sehen". Er verdient das größte Vertrauen, einmal weil er gewissenhaft und mit dem Sinn für das Reale, der ihn vor allen Historikern der Antike auszeichnet, beobachtet, sodann weil er sich ein ärztliches Wissen angeeignet hat, das erstaunlich genannt werden muß. Kein Arzt seiner Zeit hätte es besser gekonnt! An diesem Texte ist nicht herumzudeuteln. Die verschiedensten Vermutungen sind aufgetaucht, seitdem man von der Diagnose Pest abzurücken begann. Curtius nahm an, daß es sich um ein „typhöses Fieber", Kobert, daß es sich um Mutterkorninfektion, F. Kanngießer, daß es sich um Fleckfieber gehandelt habe. Ernst zu nehmen war nur die Fleckfiebertheorie. Doch hier mußte vom philologischen *und* medizinischen Standpunkt aus Einspruch erhoben werden. Schittenhelm sagt von den Flecken, nach denen ja das Fleckfieber seinen Namen hat, daß sie zunächst der Roseole ähnlich, „explosionsartig aufschießen, bald punktförmig, bald stecknadelkopfgroß, bald unregelmäßig wie Spritzerchen" den Eindruck flekkenhafter Marmorierung machen (Radiergummiphaenomen!). Thukydides aber spricht von kleinen

[1]) B. v. Hagen, „Die Pest im Altertum". Gustav Fischer, Jena 1939.

Phlyktaenen und Pusteln, also *erhabenen* Gebilden, nicht von Flecken (die flach sind). Etymologische und medizinische Forschungen führten zum Ziele. Phlyktaene heißt nämlich Blase, die mit Flüssigkeit gefüllt ist. Der Mediziner Eckstein aber sagt von den *Pocken* (Blattern), daß sie erst „hirsekorngroß", am 5. Tage „linsengroß mit konischer Spitze", am 6. Tage „Bläschen mit heller, klarer Flüssigkeit" seien. Wenn ich persönlich auch niemals Pockenkranke zu sehen bekommen habe, so konnte ich doch farbige Darstellungen des Exanthems von Pocken und Fleckfieber studieren und vergleichen. Auch stellte mir das Hygienische Institut eine vorzügliche Pockendarstellung in Papiermaché (Moulage) zur Verfügung. Selbst der Laie kann Pocken und Fleckfieber nicht verwechseln. Das Exanthem des Fleckfiebers besteht nun einmal aus „kleinen, sauerkirschfarbenen, punktförmigen Flecken". Die genaue Nachprüfung aller von Thukydides verzeichneten Symptome und der wertvollsten deutschen Pockendarstellungen aus den letzten 30 Jahren ergab die vor der inneren Medizin und der philologisch fundierten Geschichtsforschung zu Recht bestehende Diagnose: Variola.

Nur ein einziges Symptom — die von Thukydides bei Genesenen gelegentlich beobachtete Gangraen der Zehen, Finger und Schamteile — verursachte Bedenken. Die innere Medizin kennt bei Pocken das Absterben und Brandigwerden der Extremitäten *nicht*, wohl aber am Schluß von Erkrankungen an Fleckfieber. Deshalb die Diagnose Variola fallen zu lassen, erschien völlig unmöglich. Veil hat nun den Ausweg gefunden, der mir auch historisch durchaus glaubhaft erscheint, und die Hypothese aufgestellt, daß in Athen neben der Pockenepidemie auch noch Fleckfiebererkrankungen vorgekommen seien, was bei den Zernierungsverhältnissen durchaus möglich gewesen sei. Während die von Thukydides erwähnten schweren Augenentzündungen und Erblindungen *nur* bei Pocken vorkämen, sei eine Gangraen nur bei Fleckfieber möglich. Nun galt es, kein Symptom zu über- oder unterschätzen, keines zu verschweigen. So kam ich zu folgendem *Ergebnis:*

Die Pocken, in Abessinien heimisch, waren von da nach Ägypten und zur See nach dem Piräus eingeschleppt worden, dann nach Athen gewandert. Wohnungsnot und Sonnenhitze bedrängten die Einwohner. Da die von Perikles in die Stadt überführte Landbevölkerung in elenden Behelfsbaracken wohnte, die besonders „stickig und dumpf" waren, starben die Menschen gerade in den Baracken „wie die Schafe". Wir wissen heute, daß ohne Kleiderlaus kein Fleckfieber übertragen wird und daß Zugluft, der Feind der Läuse, zur Bekämpfung des Fleckfiebers nötig ist. Vielleicht hat auf Thukydides die für Fleckfieber charakteristische Gangraen der Schamteile, Finger und Zehen besonderen Eindruck gemacht, während das Exanthem des Fleckfiebers, das heute jeder Student in klinischen Semestern auf den ersten Blick von Pockenexanthem unterscheidet, in seiner Abweichung nicht beobachtet wurde. Der Nichtarzt Thukydides hat also Pocken und Fleckfieber nicht auseinandergehalten. Interpretation und Identifikation, die wesentlichsten Stationen auf dem Weg zur historischen Diagnose, haben somit zur Aufklärung der Zweifel geführt. Die von Thukydides, auch was die zeitliche Aufeinanderfolge der Symptome anlangt, mit bewundernswerter Präzision geschilderte Seuche war eine Pockenepidemie, die höchst wahrscheinlich 90—95% der Erkrankten erfaßte, während die restlichen 5—10% Fleckfieber durchmachten. Auch die angestrengtesten Bemühungen von medizinischer und historischer Seite werden einen höheren Grad von wissenschaftlicher Wahrscheinlichkeit kaum erbringen.

IV.

Daß auch gegenüber einer mit hundertprozentiger Sicherheit gestellten historischen Diagnose immer wieder Vorsicht, Überprüfung und Differenzierung am Platze sind, erfuhr ich bei einer weiteren Untersuchung, die ich mit Unterstützung der Direktoren der Medizinischen Klinik, der Veterinäranstalt und des Hygienischen Instituts durchführen konnte[2]). Es handelt sich um den Bericht eines byzantinischen Historikers Agathias über eine im Jahre 553 n. Chr. in Ceneda am Südfuß der Alpen ausgebrochene „seuchenartige Erkrankung", die den germanischen Heerführer Leutharis mit seinen Mannen nach qualvollen Leiden dahinraffte. Dieser germanische Heerführer war nach schweren Kämpfen und großen Marschleistungen aus Süditalien nach Norden gekommen und erkrankte plötzlich schwer. Er wurde wahnsinnig und tobte wie die Irren und manisch Erregten. Klonische Krämpfe mit Zuckungen befielen ihn und er stieß dumpfe Seufzer aus. Er fiel zu Boden und wälzte sich daselbst. Schaum floß ihm aus dem Munde, seine Augen waren aufgequollen und verdreht. Mit den Zähnen sich im Arm festbeißend und sein eigenes Fleisch zerreißend, verschlang er es und leckte gierig den herausfließenden Gewebesaft aus „wie ein Tier". Sein Tod war jammervoll. Auch die begleitenden Mannen starben alle, freilich auf recht verschiedene Weise. Das sind in Kürze die Hauptsymptome.

Die auf Grund philologisch-historischer und medizinischer Forschungen gestellte Diagnose *Lyssa humana* (Tollwut) hat nirgends Anstoß gefunden, man erkennt sie vielmehr an. Agathias nennt übrigens den Namen der in der späteren Antike allgemein bekannten Krankheit nicht, sagt aber von Leutharis ausdrücklich: ἐλύττα „er tobte wie ein Tollwütiger". Hinzu kommt, daß das Sich-ins-Fleisch-Beißen ein unverkennbares Symptom — bei Tier und Mensch — ist. Ich habe mich aber nicht auf die Antike beschränkt, sondern die gesamte neuere Literatur zur Wutkrankheit bis zur Gegenwart gründlichst durchgearbeitet, auch das „Veterinärhistorische Jahrbuch" und das wichtigste Schrifttum zu Pasteurs Immunisierungsverfahren (von 1885 an). Ob es sich um den Ungarn Hoegyes (1897) oder um die deutschen Arbeiten von Jochmann (1924), Jos. Koch (1930), Strümpell-Seifarth (1934), Ed. Böcker (1939) oder Lommel (1934) oder um die Monographie „Lyssa bei Mensch und Tier" (1926) von Kraus-Gerlach-Schweinsburg oder die „Allgemeine Epidemiologie der Tierseuchen" (1930) von Francke-Görttler handelte, aus allen diesen Arbeiten ging mit verblüffender Klarheit hervor, daß Agathias auch die zeitliche Aufeinanderfolg der Symptome *genau so wie die ärztliche Literatur unserer Tage* schildert, so daß er entweder die ärztliche Literatur oder aber die beste ärztliche Beratung bzw. Unterstützung zur Verfügung gehabt haben muß. Denn wenn er auch Zeitgenosse war, so ist er doch nicht Augenzeuge gewesen. Es besteht aber für mich kein Zweifel, daß er sich auf den Bericht eines Augenzeugen gestützt hat.

Sofern meine Rezensenten Kritik übten, meinten sie, die Lyssa sei keine Seuche und ergreife nicht auf einmal mehrere oder gar viele Personen. Leutharis sei zweifellos an der Lyssa gestorben, aber nicht alle Soldaten. Ich habe indessen a. a. O. S. 7 nur von einer „*seuchenartigen Krankheit*" gesprochen, nicht von

[2]) B. v. Hagen, „Lyssa. Eine medizingeschichtliche Interpretation". Gustav Fischer, Jena 1940.

einer Seuche im üblichen Wortsinne, und habe a. a. O. S. 23 auf die Buntheit der abweichenden Symptome — der Unterschiede zwischen „rasender" und „stiller' Wut — hingewiesen und „Übergangsformen" als Möglichkeiten angenommen, durch welche das Krankheitsbild „in den einzelnen Fällen sehr mannigfaltig modifiziert" werde. So ist z. B. das von Agathias bei manchen Soldaten des Leutharis festgestellte apoplektische Stadium höchst charakteristisch für die sog. „stille Wut". Diese stille Wut kommt in doppelter Form vor, entweder als 3. oder Endstadium der rasenden Wut, wo es identisch ist mit einem Erschöpfungsstadium, oder aber selbständig als eigenes Stadium der Lyssa, wobei das Erregungs- oder Hauptstadium vollständig fehlt, der Patient also nicht den Eindruck des Tobsüchtigen macht, gleichwohl er unfehlbar und ausnahmslos stirbt, weil er vom Virus infiziert ist (das durch die Nervenbahnen zur Medulla oblongata, dem verlängerten Mark, fortgeleitet, seine verheerenden Wirkungen: Schlundkrämpfe und Atemnot, auslöst).

Der Auffassung Rudolf Herzog's („Das Gymnasium", Heidelberg 1942, 9. Kriegsheft, S. 140 ff.), daß Leutharis an Lyssa, seine Mannen aber an Malaria gestorben seien, kann ich nicht beipflichten. Dann hätte Agathias die Malariasymptome einwandfrei klar skizzieren müssen. Denn die spätere Antike kannte die Malaria in allen ihren Variationen aufs genaueste. Daß die vox populi (nach Agathias) für den Ausbruch der Krankheit die „schlechte" Luft anklagte, spricht nicht für Malaria — deren Geschichte ich selbstverständlich kenne —, besagt vielmehr ebensowenig, wie die von Agathias angeführten „Sünden" der germanischen Krieger (Unmäßigkeit und Ausschreitungen gegen göttliche und menschliche Rechtsordnungen). An Malaria sterben auch *niemals* alle Erkrankten ohne Ausnahme, wie in unserem Falle Agathias bezeugt und wie es bei Lyssakranken vor Pasteur immer der Fall war und noch heute ohne rechtzeitiges Immunisierungsverfahren unausbleibliche Notwendigkeit ist. Nicht einmal für eine Differentialdiagnose kommt meines Erachtens Malaria in Frage, viel eher schon traumatischer Tetanus oder Delirium tremens.

Endlich verweise ich auf Jos. Koch, der ausdrücklich feststellt, daß Lyssa bei Tieren wie Menschen „*einen ausgesprochen seuchenartigen Charakter*" annehmen könne. Im April 1948 meldeten die Zeitungen, um allerneueste Zeugnisse festzuhalten, daß „in Heraklion auf Kreta über 200 Personen an Tollwut erkrankten". Dutzende von Belegen aus dem ärztlichen Schrifttum der letzten 50 Jahre könnte ich anführen, namentlich aus dem südöstlichen und östlichen Europa, aber auch aus Südamerika. Man kann sogar von „Seuchenherden" sprechen, innerhalb deren die Lyssa humana infolge von Hundebiß oder Speichelberührung ausbrach. Die Behauptung, daß die Lyssa niemals als Seuche auftrete, läßt sich somit nicht aufrechterhalten.

Beachtlicher scheint mir die Warnung des als Erforschers der Tropenkrankheiten bekannten Vertreters der Physikal. Therapie, Prof. Dr. J. Grober, Jena, nämlich die Möglichkeit ins Kalkul zu ziehen, daß „Infektionskrankheiten nach Ort und Zeit ihren *Charakter vollständig ändern*" (Syphilis, Fleckfieber, Masern, Schlafkrankheit, gelbes Fieber). Jene Warnung, die bei 1400 verstrichenen Jahren besonders ins Gewicht fällt, schränkt freilich jede historische Diagnose erheblich ein und soll immer wieder zur sorgfältigen Beobachtung auch der Veränderungen im Symptomenkomplex anregen. In unserem Falle kann sie die Diagnose Lyssa nicht entkräften, wohl aber die Varietät der Symptome bei den Mannen des Leutharis mit erklären helfen.

Schließlich sei eines sehr wichtigen Beitrags gedacht, der dem *Hundebiß* weniger Gewicht beimißt, als dem beim *Belecken* eines Menschen durch Hunde ausfließenden *Speichel*. Hatten doch einige Kritiker gemeint, germanische Soldaten würden den ersten besten Hund sofort erschlagen haben, der einen ihrer Kameraden gebissen hätte. Der 1945 verstorbene Berliner Chirurg Prof. Felix Landois schrieb mir (am 26. 8. 1940), und mit diesem schwerwiegenden Zeugnis eines wahrhaft humanistischen Arztes, mit dem ich 1934 in Hellas reisen durfte, sei dieses Kapitel abgeschlossen: „Meiner Ansicht nach ist ein Hundebiß zur Erzielung der Infektion auch gar nicht nötig. Ich erkläre mir das gehäufte Auftreten von Lyssa im germanischen Heere folgendermaßen: Die Menschen hatten sehr viel durchgelaufene Füße; die Wunden, *nicht* gepflegt, wandelten sich zu Geschwüren um, und *nun haben die Menschen diese Geschwüre belecken lassen von Hunden, die vor dem Ausbruch der Hundelyssa bereits durch Virus infizierten Speichel hatten.* Noch heute gilt auf dem Lande der Speichel als eine *heilende* Feuchtigkeit und mit ‚Spucke' werden oft Wunden kuriert. Im Neuen Testament steht — ich glaube, es ist beim armen Lazarus[3]) — *daß die Hunde ihm die Schwären leckten* — natürlich, damit sie heilen sollten. Die Berührung einer Wunde mit virushaltigem Speichel genügt, um eine Infektion mit Hundswut zu erzeugen."

V.

Außer jenen antiken Quellen, die uns über Krankheiten und Todesursachen immer wieder Rätsel aufgeben, haben wir auch Überlieferungen von Krankheitsdarstellungen, die eine Seuche oder Krankheit mit ihrem Namen benennen. Hier besitzen wir also eine *ferlige* Diagnose, es fragt sich nur, ob sie immer richtig ist, ob die Krankheit mit der Symptomatologie der antiken Medizin übereinstimmt und heute noch unter gleichen oder mindestens ähnlichen Bedingungen auftritt. Hier erwächst also die Pflicht, sehr kritisch zu verfahren und nicht vorschnell zu urteilen. Wenn Hippokrates eine *Mumpsepidemie* auf der Insel Thasos beschreibt, so interessiert uns das nicht allzusehr. Immerhin ist beachtlich, daß sich Art und Abfolge der Symptome seit 2400 Jahren nicht im mindesten geändert haben! Die verheerende Pestepidemie, die 542 n. Chr. aus dem Nildelta in Konstantinopel eingeschleppt worden war, hat durch Prokopios eine höchst lesenswerte Darstellung gefunden. Im Vergleich mit dem ärztlichen Schrifttum seit Entdeckung des Pestbazillus (1894) durch den Japaner Kitasato und den Franzosen Yersin habe ich nachgewiesen[4]), daß es sich nur um *Bubonen- oder Drüsenpest* gehandelt haben kann. Entscheidend ist Prokopios eingehende Schilderung der Bubonen. Die heutige Medizin weiß, wodurch und unter welchen Umständen die Bubonen zustandekommen, die antike begnügte sich aus Unkenntnis des bakteriologischen Hintergrundes mit der peinlich-sorgfältigen Beschreibung. Am ersten oder zweiten Tag traten die Bubonen auf. Am häufigsten fanden sich damals wie heute die Leistenbubonen, weil der Rattenfloh, wie wir heute wissen, nur 40 cm hoch springen kann, Flohbisse also an den Beinen häufiger als an den Armen vorkommen. In der Reihenfolge der Häufigkeit der Bubonen (Leisten-, Achsel-, Halsbubonen) berührt sich Prokopios aufs engste mit dem heutigen ärztlichen Schrifttum. Auch Prokopios wird in den vier

[3]) Ev. Lucae 16, 20 ff.: *καὶ οἱ κύνες ἐρχόμενοι ἐπέλειχον τὰ ἕλκη αὐτοῦ.*

[4]) B. v. Hagen, „Die Pest im Altertum".

Schreckensmonaten, während deren Konstantinopel heimgesucht wurde, von Ärzten gut unterrichtet worden sein, hat uns aber auch eine Menge sehr beachtlicher Einzelheiten, z. B. über Krankenpflege und Bestattung, vor allem über Ansteckung und Nichtansteckung auf Grund eigener Beobachtung hinterlassen. Auffallend, wie oft er sich mit Hellmuth von Moltke's Aufzeichnungen aus dem Jahre 1837 berührt, der ja ein ebenso unerschrockener Beobachter der Pest wie ein ausgezeichneter Kenner Konstantinopels gewesen ist! Noch heute läßt sich Prokopios's Seuchendarstellung in Konstantinopel lokalisieren und nacherleben. Eine besonders verblüffende Übereinstimmung sei noch herausgehoben. Wenn Hegler, der beste Pestkenner unserer Tage, im „Handbuch der inneren Medizin" (1934) S. 1247 sagt, „das Verschwinden des Bubo vor dem Temperaturabfall ist ein ungünstiges Zeichen, beginnende Vereiterung als Äußerung einer kräftigen Körperabwehr ein günstiges", so sagt er dasselbe wie Prokopios, der den Höhepunkt der Erkrankung in dem Augenblick überschritten sah, in dem „der Bubo mächtig anschwoll und in Eiter übergegangen war", was er als Genesungszeichen — *γνώρισμα τῆς ὑγιείας* — bezeichnet, während er es als besonders gefährlich hinstellt, wenn der Bubo klein blieb und sich nicht veränderte, also nach innen ging. Endlich sei auf einen trefflichen Pestbericht aus unseren Tagen (über eine Bubonenpest in Griechenland 1924) aufmerksam gemacht, den wir Carly Seyfarth verdanken („Münchener Med. Wochenschrift" 1925). Gerade bei der Gegenüberstellung der Berichte von Seyfarth, Moltke und Prokopios zeigt sich, daß wir, trotz unserer gewaltigen bakteriologischen Fortschritte seit 50 Jahren, keinen Grund haben, auf die Antike verächtlich herabzublicken.

Prokopios hat sich den Thukydides nur stilistisch zum Vorbild genommen (etwa wie Einhard in der vita Caroli Magni den Römer Suetonius). Seine Seuche ist die echte Bubonenpest, während es sich bei Thukydides um eine Variolaepidemie handelte. Dennoch wird man beim Lesen der einen Beschreibung immer wieder an die andere erinnert, wandern die Gedanken von Konstantinopel nach Athen und umgekehrt. Und doch liegen zwischen beiden Schriftstellern, die beide griechisch schreiben, rund 1000 Jahre!

VI.

Die *Cholera* — der Name ist griechisch und bedeutet nicht, wie man immer wieder fälschlicherweise lesen muß, „Gallenfluß", sondern Darmerkrankung — erfordert noch ein kurzes Kapitel. In Deutschland ist die Cholera erst 1831 im Osten aufgetaucht, wo Gneisenau und Clausewitz ihr erlegen sind, wie in Berlin der Philosoph Hegel. 1883 hat Robert Koch den Kommabazillus entdeckt und im wissenschaftlichen Streite mit Pettenkofer in der furchtbaren Epidemie in Hamburg 1892 den Sieg errungen. Das infizierte Trinkwasser der Hamburger Wasserleitung, nicht die Bodenbeschaffenheit oder das Grundwasser, war die Quelle der Seuche mit ihrem Massensterben. Nun ist die Frage, die von bakteriologischer Seite großenteils verneint wird, ob es im Altertum Cholera gegeben habe. Man wendet ein, echte Cholera asiatica sei erst 1817 in Indien aufgetreten und seit 1883 bakteriologisch nachweisbar, ohne den bakteriologischen Nachweis (der indessen durchaus nicht immer geführt werden kann!) gäbe es keine echte Cholera. Nun sind aber schon von Hippokrates in seinen „Epidemien" (das sind kurze ärztliche Aufzeichnungen bei Krankenbesuchen in den verschiedensten Gemeinden Griechenlands) choleraartige Zustände beschrieben worden. Wir besitzen auch von dem zur Zeit des Kaisers Tiberius lebenden Römer Celsus, den freilich mehr die Therapie interessierte, Aufzeichnungen über Cholera, dagegen eine ausgezeichnete hochwertige Darstellung der Symptome der Cholera von Aretaios. Sie lautet, nachdem Aretaios die schweren Durchfälle, das Erbrechen und die Bauchkrämpfe erwähnt hat, folgendermaßen: „Bald stellen sich Kontraktionen der Muskeln an Waden und Armen ein. Die Finger werden gekrümmt, es wird dem Patienten schwarz vor den Augen, Schlucksen kommt auf; die Nägel sind graublau, Kälte verbreitet sich, die Extremitäten werden eisig, der ganze Körper erstarrt. Im Endstadium schwitzt der Mensch, Galle geht nach oben und unten ab. Es besteht Anurie infolge des Krampfes, es sammelt sich aber auch kein Urin in der Blase an, weil alle Flüssigkeit zum Darm abgelenkt ist. Die Stimme erlischt, der Puls ist sehr klein und häufig." Mit diesen Sätzen hat Aretaios in klassischer Weise das heute in *allen* medizinischen Darstellungen ausführlich behandelte sogenannte stadium algidum oder asphycticum, das für Cholera asiatica charakteristisch ist, fein beobachtet und festgelegt. Diese mehr als verblüffende Übereinstimmung veranlaßt mich anzunehmen, daß Aretaios bereits echte Cholera gekannt und beschrieben hat. Wer freilich hartnäckig Robert Koch's bakteriologischen Nachweis verlangt, ohne den es keine Diagnose Cholera gäbe, der steht dem antiken Bericht hilflos gegenüber, freilich nicht hilfloser als im Falle der Choleraberichte 1831 (man lese die Berichte aus jenen Monaten!) und 1866, wo die Cholera den preußischen Truppen in Böhmen (Königgrätz) schwerste Verluste zufügte. Wieviel Streit aber hat es noch 1892 in Hamburg gegeben über die Frage, ob echte Cholera vorliege oder sogenannte Cholera nostras, d. h. einheimischer Brechdurchfall! Erwiesen ist das eine: auch der einheimische Brechdurchfall kann schwerste Formen und hochprozentige Letalität auslösen, während umgekehrt auch bei Cholera asiatica (*mit* dem bakteriologischen Nachweis des Kommabazillus!) ganz leichte, in baldige Genesung übergehende Fälle beobachtet werden (B. v. Hagen, Antike Choleraberichte. In: „Jenaische Ztschr. für Med. u. Naturwiss." 1942).

Wir sehen also auch hier, selbst wenn wir aus der Antike exakteste, mit heutiger Aetiologie und Symptomatologie restlos übereinstimmende Berichte haben: es bleibt ein Erdenrest, zu tragen peinlich... Wir müssen solchem Reste Beachtung schenken, dürfen aber das Negative nicht überbewerten.

Ergebnis:

An Beispielen aus der Antike — bei ständiger Gegenüberstellung mit dem besten und neuesten ärztlichen Schrifttum — suchten wir nachzuweisen, wie verschieden, was Vorgehen, Deutung und Auswertung anlangt, die Wege sind, die zum Ziele führen oder nicht, wie notwendig sich historische Kenntnisse und philologische Interpretationskunst erweisen, wie unentbehrlich medizinische Beratung und Warnung. Zudem ist Ehrlichkeit gegenüber Schwierigkeiten ebenso geboten wie Eingestehen des Unvermögens, wo es am Platze ist. Die Erkenntnis endlich, daß vom Altertum zur Gegenwart Brücken führen, die verbindend und tragfest erscheinen, ja Bewunderung erregen, muß vor zwei Grundfehlern bewahren: einerseits vor der abfälligen, achselzuckenden Kritik am „Versagen" der Antike, andererseits vor der Überschätzung der erschlossenen Identität der Berichte, so viel Anreiz immer wieder zu solchen Entdeckungen locken, so viel Freude immer wieder von solchen Funden ausstrahlen mag.

Eingegangen am 24. April 1948.

Über den derzeitigen Stand der Theorie des Hörens.[1])

Von Erwin Meyer.

Im Gegensatz zum Auge, das zusammengesetztes weißes Licht als einheitlich empfindet und nicht spektral in der Art wie ein Prisma zerlegt, besitzt das menschliche Ohr eine außerordentlich hoch entwickelte Fähigkeit zur Analyse des empfangenen Schalles. Je nach Veranlagung und Übung kann der Mensch aus einem komplizierten Tongemisch die einzelnen Komponenten, die „reinen" Töne, mehr oder minder gut heraushören. Dies ist der Inhalt des bekannten Ohmschen Grundgesetzes der physiologischen Akustik, das sein Gegenstück in dem Fourierschen Theorem der Mathematik hat. Auch das Unterscheidungsvermögen für Tonhöhen ist enorm groß, d. h. die Tonhöhenunterschiedsschwelle ist sehr klein; es genügt, darauf hinzuweisen, daß man bei 1000 Hz, d. h. in der Gegend von c^3, noch eine Erhöhung oder Vertiefung eines Tones um 3 Hz oder in der musikalischen Ausdrucksweise um den 20sten Teil eines Halbtones, um 5 Cent, wahrnehmen kann.

Diese Tatsachen haben in gleichem Maße die Aufmerksamkeit der Physiologen wie der Physiker auf sich gezogen, und eine Reihe von Klärungsversuchen, von Hörtheorien, sind im Laufe der Zeit entstanden. Man muß noch einschränkend hinzufügen, von „peripheren" Hörtheorien, d. h. von solchen Theorien, die sich auf der Tätigkeit der äußeren Hörorgane, insbesondere der Schnecke, des Cortischen Organs, aufbauen. Die andere Möglichkeit, die Erklärung in den Funktionen des Zentralorgans („Zentrale Theorien des Hörens") zu suchen, bedeutet wohl auch heute noch einen Verzicht auf eine Erklärung.

Angesichts des großen Auflösungsvermögens des Ohres liegt es nahe, als periphere Hörtheorie eine „Resonanztheorie" zu nehmen, ein Gedanke, der zwar schon früh ausgesprochen, im wesentlichen aber erst von H. v. Helmholtz in seinem Buch „Die Lehre von den Tonempfindungen" 1863 begründet wurde; die Theorie führt daher nach ihm den Namen „Helmholtzsche Resonanztheorie" des Hörens. Sie wurde später insbesondere von Erich Waetzmann in seinem Buch „Die Resonanztheorie des Hörens" 1912 vertreten. Ihr Inhalt ist, daß im inneren Ohr sich ein System verschieden abgestimmter Resonatoren befindet, die entsprechend erregt werden und deren Erregungsstärke zum Zentralorgan übermittelt wird. Eine solche Theorie schien auch durch eine anatomisch gefundene Faserstruktur der Basilarmembran begründet, die den Vergleich mit der Saitenbespannung eines Flügels nahelegte.

Eine Resonanztheorie bewährt sich auch in anderer Hinsicht. Diejenigen Theorien nämlich, die nicht eine spektrale Zerlegung des Schalles bereits im äußeren Ohr vornehmen, wie z. B. die „Ewaldsche Schallbildertheorie", die viel beachtet wurde, oder auch die sogenannte „Telefontheorie", haben die größten Schwierigkeiten, um einen weiteren Effekt zu erklären, nämlich die Unabhängigkeit der Klangfarbe von der Phase der einzelnen Teiltöne. Der zeitliche Verlauf eines Schallvorganges, das sogenannte Oszillogramm, sieht bekanntlich grundverschieden aus, wenn bei gleichbleibenden Amplituden der Teiltöne die Phasenbeziehungen zwischen ihnen geändert werden, und man kann auf diese Weise unendlich viele Varianten eines Oszillogramms, sozusagen Schallbilder, erhalten, die alle denselben „Schallinhalt" haben und die für das Ohr ganz gleich klingen. Von dieser Schwierigkeit sind Theorien frei, die den Schall bereits im peripheren Gehörorgan in seine Teiltöne auflösen und nur die Erregungsstärke weiterleiten, denn damit ist dann die Phase, zumindest in Hinsicht auf die Klangfarbe, ohne Bedeutung.

Die Frage nach dem Aufbau der Ohrresonatoren oder, besser gesagt, nach der Art des Resonanzmechanismus hat viele Diskussionen hervorgerufen und ist auch heute noch nicht klar. Man darf wohl nicht von einem Resonanzvorgang in dem Sinne sprechen, daß es sich im Ohrinnern um diskrete, ganz scharf abgestimmte Gebilde handelt, die nur eine schmale Resonanzkurve haben. Im Gegenteil, alle Messungen deuten darauf hin, daß die Kurven recht breit sind. Aber ein Befund scheint ganz sichergestellt und durch vielfache Versuche erhärtet zu sein, daß nämlich jedem Tonhöhengebiet ein ganz bestimmtes Ansprechgebiet im Innenohr auf der Basilarmembran zugeordnet ist. So spricht man besser von einer „Einortstheorie" des Hörens, ein Ausdruck, der zuerst von Gildemeister eingeführt wurde.

Zum besseren Verständnis der Vorgänge ist es zweckmäßig, durch eine kurze schematische Darstellung der Anatomie des Innenohres an seinen Aufbau und seine wesentlichen Teile zu erinnern. Durch die Bewegung des Trommelfells wird über die Gehörknöchelchenkette (Hammer, Amboß, Steigbügel) das ovale Fenster erregt, das den Eingang für das innere Ohr, für die Schnecke bildet. Die Schnecke mit 2½

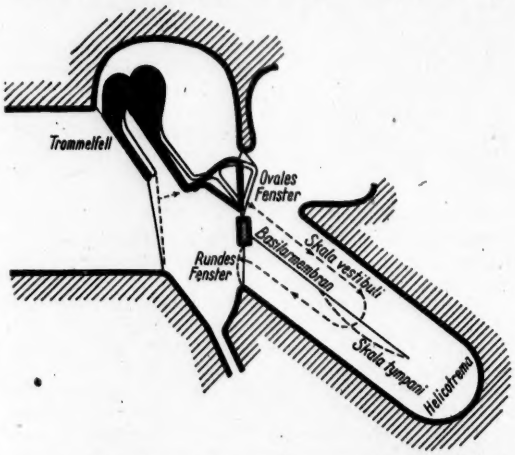

Fig. 1. Schematische Skizze des menschlichen Gehörorgans.

Windungen, in der Fig. 1 jedoch langgestreckt gezeichnet, enthält zwei mit Flüssigkeit gefüllte Kanäle, Scala vestibuli und Scala tympani, die zum großen Teil durch eine häutige Wand voneinander getrennt sind. Aus dem komplizierten Aufbau dieser Scheidewand greifen wir hier nur die Basilarmembran heraus, da sie nach dem übereinstimmenden Urteil die Trägerin des Analysiermechanismus ist. Der Ausgleich des Druckes in der oberen Scala, der durch die Schwingungen des ovalen Fensters erzeugt wird, erfolgt über die Basilarmembran oder über die unmittelbare Verbindung der beiden Kanäle, das Helicotrema, zum

[1]) Antrittsvorlesung an der Universität Göttingen, gehalten am 31. 1. 1948.

runden Fenster hin, das wieder an das Mittelohr grenzt.

Der wesentliche Teil, auf den es ankommt, liegt also in Fig. 1 jenseits des runden und des ovalen Fensters. Die diesseits gelegene Gehörknöchelchenkette zwischen Trommelfell und ovalem Fenster dient lediglich der Übertragung des Schalles von Luft auf die Flüssigkeit der Schnecke und erfüllt zwei Zwecke, einmal die Überführung der Schallenergie von Luft auf die

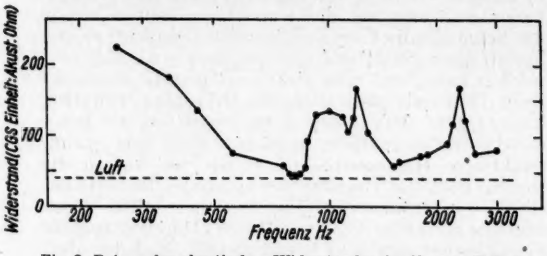

Fig. 2. Betrag des akustischen Widerstandes des Trommelfells in Abhängigkeit von der Frequenz (nach Tröger).

Flüssigkeit oder, wie man kurz sagt, die akustische Anpassung des Mediums Luft an das Medium Flüssigkeit, und zum zweiten gewährleisten dabei besondere Einrichtungen einen Schutz gegen eine Überlastung des Innenohres. Bei dieser Gelegenheit sei erwähnt, daß das schallaufnehmende System Trommelfell — Gehörknöchelchen in einem wesentlichen Teil des Tonhöhenbereichs optimal gebaut ist, d. h. die auftreffende Schallenergie wird ohne Reflexion vom Trommelfell fast ganz geschluckt. Fig. 2 zeigt dies nach Messungen von Tröger (1); aufgetragen ist der Betrag des akustischen Eingangswiderstandes, der möglichst nahe dem Wert für den Wellenwiderstand von Luft (41 C.G.S. Einheiten, „akustische Ohm") liegen muß; denn dies ist die physikalische Bedingung für eine optimale Schallaufnahme. Auch sonst ist in bezug auf die Anzeige schwacher Schallintensitäten das Ohr optimal gebaut, d. h. seine Empfindlichkeit ist bis zur Grenze des physikalisch Sinnvollen getrieben. Würde nämlich die Empfindlichkeit nur etwa um eine halbe Zehnerpotenz in bezug auf die Schalldruckamplitude gesteigert werden, so wäre z. B. die thermische Molekularbewegung der umgebenden Luft in Form eines Rauschens wahrnehmbar.

Es würde zu weit führen, hier den Aufbau der Basilarmembran, ihren Zusammenhang mit den Haarzellen und mit dem Gehörnerv näher zu beschreiben. Für die physikalische Seite einer Hörtheorie ist nur interessant, daß die Basilarmembran, die in 2½ Windungen mit 31 mm Länge durch die Schnecke hindurchgeht, an dem fensternahen Teil schmal und am Helicotrema breit ist, und daß sie dabei in ihrer Breite etwa im Verhältnis 1 : 3 variiert.

In der Helmholtzschen Resonanztheorie wird die Basilarmembran für sich allein als Resonanzgebilde aus einer großen Anzahl von nebeneinanderliegenden sozusagen unabhängigen Resonatoren betrachtet. Die Erregung geschieht dabei — darauf gehen Kucharski (2) und Fletcher (3) näher ein — durch die in der Flüssigkeit zwischen beiden Seiten der Basilarmembran vorhandene Druckdifferenz. Von manchen Autoren wird die Flüssigkeit durch ihre mitschwingende Masse als mitbestimmend in der Tonhöhe angesehen. Unter der Voraussetzung, daß die Querspannung der Membran größer als ihre Längsspannung ist, und unter bestimmten willkürlichen Annahmen über die Dämpfung erhält man z. B. für die Erregung mit einem reinen Ton (2000 Hz) eine Schwingungsform der Basilarmembran, wie sie in Fig. 3 für acht aufeinanderfolgende Phasen einer Schwingungsperiode dargestellt ist. In einer solchen Rechnung steckt natürlich die verschiedene Abstimmung der einzelnen Teile der Basilarmembran. Es sei nebenbei erwähnt, daß man tatsächlich die Abstimmung und damit die Lage des Maximums und damit die empfundene Tonhöhe willkürlich beeinflussen kann. Staut man nämlich das Blut im Kopf, indem man die Halsadern zusammendrückt, so kann man nach v. Békésy die empfundene Tonhöhe besonders bei tiefen Tönen um etwa 2% senken.

In welcher Weise die verschiedene Abstimmung bewirkt wird, ob nur durch die verschiedene Breite der Basilarmembran oder durch eine verschiedene Masse oder durch eine verschiedene Spannung, ist noch eine offene Frage. Nach Messungen von G. v. Békésy (4) ist im Gegensatz zu früheren Ansichten die Basilarmembran in keiner Richtung gespannt, sondern man kann sie am besten mit einer gallertartigen Platte vergleichen; nach ihm kommt die verschiedene Abstimmung lediglich durch die Breite zustande.

Eine Reihe von Autoren, z. B. Jung (5), Ranke (6) und experimentell v. Békésy (7) gehen von einer mehr hydrodynamischen Auffassung aus und beschäftigen sich mit der Schallausbreitung in der Schneckenflüssigkeit. Betrachten wir einmal die obere Skala. Sie stellt einen Flüssigkeitskanal dar, dessen Wandung Eigenschaften hat, die mit dem Ort und mit der Frequenz variieren; ihr „Wandwiderstand" ist orts- und frequenzabhängig. Läßt man z. B. eine Schwingung mittlerer Frequenz auf den Steigbügel auftreffen, so sind die fensternahen Wandelemente für diese Schwingung höher abgestimmt und wirken daher wie Federn. Geht man nach dem Helicotrema zu, so kommt eine Stelle, an der der Wandwiderstand wegen der Resonanz sehr klein ist und schließlich stellen die helicotremanahen Teile einen Massenwiderstand dar. Die relativ nachgiebige Wandung bedingt am Anfang eine reelle, wenn auch kleine Ausbreitungsgeschwindigkeit, ähnlich wie bei den Pulswellen. An der Resonanzstelle kann sie ganz auf Null absinken. Ob und in welchem Maße diese theoretisch vorauszusagenden Effekte wirklich auftreten, hängt von den Eigenschaften der Kanalwandung, insbesondere der Basilarmembran ab[2]).

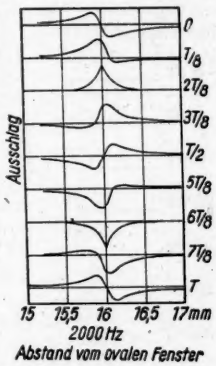

Fig. 3. Schwingungsform der Basilarmembran für einen reinen Ton (2000 *Hz*) zu verschiedenen Zeitpunkten (nach Fletcher).

Wenn man also einen Schallimpuls auf das Ohr und damit auf den Steigbügel einwirken läßt, so hat man eine Wellenausbreitung nach Art einer Wanderwelle zu erwarten, wobei die Geschwindigkeit am Steigbügel am größten ist. Fig. 4 zeigt die Welle zu zwei verschiedenen Zeiten nach Beobachtungen von

[2]) *Anmerkung bei der Korrektur.* In einer neueren Untersuchung (Journ. Acoust. Soc. Am. Bd. 19. S. 453, 1947) zeigt v. Békésy durch Phasenmessungen mit reinen Tönen am Leichenohr, daß die Phasenunterschiede längs der Basilarmembran Vielfache von 2π erreichen können, was für fortschreitende Wellen spricht. Dadurch ändern sich die Momentandarstellungen der Schwingungszustände auf der Basilarmembran erheblich (Fig. 6 der zitierten Arbeit) gegenüber der Rechnung von Fletcher (Fig. 3). Die gemessenen Kurven stimmen gut mit den Berechnungen von O. F. Ranke (6) überein.

v. Békésy am Modell einer Schnecke. Die Welle wird durch einen ruckartigen Ausschlag des Steigbügels erzeugt.

v. Békésy gelang es sogar, durch ein sinnreiches Versuchsverfahren unter Zuhilfenahme des Verdekkungseffektes und der beim zweiohrigen Hören auftretenden kleinen Zeitdifferenzen die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Knackwelle am lebenden Menschen zu messen; sie liegt in der Größenordnung von 10 m/s für die entfernteren Teile der Basilarmembran. In Steigbügelnähe dürfte sie nach Messungen mit dem später noch zu behandelnden Mikrophoneffekt in der Gegend von 20 bis 30 m/s liegen. Versuche am Leichenohr und am Modell bestätigten die Werte.

Fig. 4. Wellenausbreitung auf der Basilarmembran (nach v. Békésy).

Bei diesen Versuchen und bei Versuchen mit Tönen fand v. Bèkèsy (8) übrigens auch die Ausbildung eines Wirbels, und zwar an der jeweiligen Resonanzstelle der Basilarmembran; es ist noch nicht geklärt, welche Bedeutung dieser Flüssigkeitswirbel im Rahmen einer Hörtheorie hat. Er tritt am Leichenohr und im Modellversuch mit Gummimembranen unter den verschiedensten Bedingungen auf. Nebenbei sei hier bemerkt, daß ganz neue Schweizer Arbeiten (9) die Tatsache, daß bei Lärmschädigungen des Ohres mit breiten Frequenzbändern immer die Tonhöhe 4000 Hz in erster Linie in Mitleidenschaft gezogen wird, auf solche Wirbelvorgänge zurückführen.

Wie auch im einzelnen der Mechanismus im Innenohr sein mag, alle vorgenannten Überlegungen zielen auf eine Einortstheorie hin, für ihre Begründung sind daher einige experimentelle Belege von großer Bedeutung. Bekannt sind — unter den zahlreichen Versuchen dieser Art seien nur die beweiskräftigsten herausgegriffen — die Versuche von Held und Kleinknecht, die bei Meerschweinchen durch Hineinbohren eines winzigen Loches in die knöcherne Schnecke Eingriffe vornahmen und damit z. B. an der Basilarmembran die Halterung oder Spannung lokal änderten. Während die Tiere vorher auf alle Töne reagierten, fielen nach der Operation gewisse Tonhöhen aus.

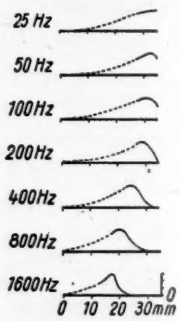

Fig. 5. Verteilung der Schwingungsamplitude längs der Basilarmembran nach Messungen von v. Békésy).

v. Bèkèsy (10) maß nach Ausbildung einer unerhört präzisen Präpariertechnik unmittelbar an der Schnecke des Leichenohres. Aus seinen Ergebnissen sei diejenige Figur (Fig. 5) herausgegriffen, die für verschiedene Frequenzen die räumliche Verteilung der Schwingungsamplitude längs der Basilarmembran zeigt.

Wieder ein anderer Weg ist der, den anatomischen Befund der Schnecke schwerhöriger Personen nach ihrem Tode mit dem kurz davor aufgenommenen Audiogramm, d. h. dem Verlauf der Hörschwellenkurve zu vergleichen. Es gibt Fälle, bei denen die Schwerhörigkeit z. B. bei einer höheren Frequenz abrupt einsetzt und ihre Ursache in einer Degeneration des Cortischen Organs hat. Auf diese Weise gelingt es, wenn auch nicht diskrete Frequenzen, so doch Frequenzgebiete mit ihrer Lage auf der Basilarmembran zu koordinieren.

Ein anderes modernes Verfahren, das Stevens und Davis (11) verwenden, benutzt zwar den alten Grundgedanken der mechanischen Zerstörung eines Teils des Cortischen Organs eines Tieres mittels eines Bohrers, aber die Wirkung wird am lebenden Tier durch eine Messung studiert, die wesentlich genauer ist als die alten Tondressurversuche und die den sogenannten Mikrophoneffekt der Cochlea benutzt. Wever und Bray (12) fanden nämlich im Jahre 1930 in ihren berühmten und damals großes Aufsehen erregenden Versuchen, daß sowohl im Hörnerv wie in der Schnecke die Frequenz des auftreffenden Schalles unmittelbar elektrisch abgenommen und abgehört werden kann, daß man also sozusagen die Schnecke eines Tieres als ganz normales Mikrophon benutzen kann. Dieser Befund schien seinerzeit fast die Resonanztheorie zu stürzen; denn man sieht vom Standpunkt der Resonanztheorie nicht ein, warum die Nerven noch die Tonhöhe des auftreffenden Schalles als Wechselstrom zum Gehirn fortleiten sollen. Wozu dann die periphere Analyse? Durch zahlreiche spätere Versuche hat sich aber herausgestellt, daß der eben beschriebene elektrische Cochlea-Effekt nichts mit den eigentlichen Nervenaktionsströmen zu tun hat

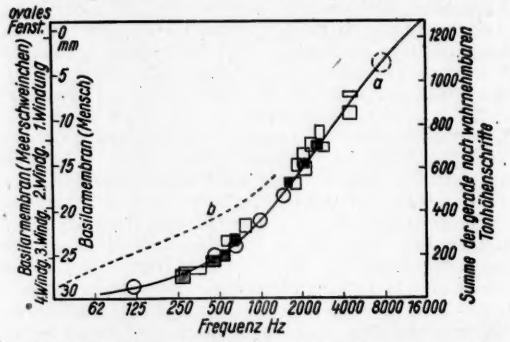

Fig. 6. Lage der Ansprechgebiete der einzelnen Frequenzen auf der Basilarmembran ○ □. Messungen von Stevens und Davis mit dem Mikrophoneffekt. Kurve *a*. Nach Messungen der Tonhöhenunterschiedsschnelle. Kurve *b*. Messungen am Leichenohr nach v. Békésy.

und durch einen noch ungeklärten Mechanismus im Ohr entsteht (eine Hypothese ist übrigens die, daß die Haarzellen des Cortischen Organs piezoelektrisch sind). Welches auch die Bedeutung des Effektes sein möge, er hat sich im Tierversuch in einer großen Reihe von Arbeiten als wichtiges Hilfsmittel zur Untersuchung der Vorgänge im inneren Ohr erwiesen. Man ist z. B. auf diese Weise in der Lage, beim Tier eine Art von Hörschwellenkurve aufzunehmen. Sie benutzt man dann im vorliegenden Falle dazu, eine Erhöhung der Hörschwelle auf Grund der Anbohrung der Schnecke festzustellen und bringt so den gestörten Frequenzbereich und die Lage der Störstelle miteinander in Zusammenhang. Diese Messungen an Meerschweinchen sind wohl die zuverlässigsten Ergebnisse, die wir über die Zuordnung von Frequenz und Ort der Basilarmembran haben. Und nach sonstigen Ähnlichkeiten im Hörvorgang zu schließen, dürfte die Frequenzaufteilung in der Schnecke des Menschen analog liegen. Fig. 6 zeigt deswegen diese Zuordnung zusammen mit Messungen am Menschen. In der Kurve für die Meerschweinchen geben die Breite der Rechtecke bzw. die Größe der Kreisflächen zugleich die Streuungen in Frequenz und Ort an. Interessant ist es, daß die durchgezogene Kurve eine berechnete Kurve ist, und zwar aus der Messung der Tonhöhenunterschiedswelle am Menschen. Es wird dabei angenommen, der minimale, gerade noch feststellbare Abstand

zweier Tonhöhen entspreche dem minimalen, gerade noch von den Nervenzellen auseinanderhaltbaren Abstand zweier Erregungsgebiete der Basilarmembran. Auf diesen als konstant angenommenen Abstand fallen übrigens zwei Hörzellen und eine Nervenfaser. Die gestrichelte Kurve endlich gibt Messungen von v. Békésy (13) am Leichenohr wieder und zeigt, daß die so erhaltene Verteilungskurve ähnlich verläuft.

Diese kurzen Hinweise dürften genügen, um die Berechtigung einer Einortstheorie für den Hörvorgang in der Schnecke nachzuweisen.

Eine den Physiker sehr bewegende Frage ist die nach der Resonanzschärfe der Ohrresonatoren, ein Problem, das besonders von E. Waetzmann (14)

Fig. 7. Resonanzkurven auf der Basilarmembran (nach Messungen von v. Békésy am Leichenohr).

diskutiert und aus Trillerversuchen zu beantworten versucht wurde. In neuerer Zeit hat man hierzu einerseits den Ermüdungseffekt, der von einem reinen Ton erzeugt wird, herangezogen, er bewirkt eine Lautstärkeverminderung auch der benachbarten Tonhöhen, die man messen kann, andererseits wurde der sogenannte Verdeckungseffekt benutzt, der ja auch erlaubt, sozusagen die Amplitude der Basilarmembran abzutasten. Am aufschlußreichsten sind wohl auch hier wieder die Messungen von v. Békésy (13) am Leichenohr, der unmittelbar mikroskopisch die Amplituden der Basilarmembran an einer großen Anzahl von Präparaten studierte. Die Ergebnisse sind in Fig. 7 wiedergegeben. Man erkennt sofort, daß die Resonanzkurven ziemlich breit sind, insbesondere auch bei tiefen Tönen. Diesem Resonanzkurvenbefund entsprechen die Beobachtungen der Ausschwingvorgänge an einigen Punkten der Basilarmembran. Die Basilarmembran ist stark gedämpft; das logarithmische Dekrement ist etwa 1,4.

Daß die Ohrresonatoren so gedämpft sind oder besser so gedämpft sein müssen, versteht man sehr gut, wenn man daran denkt, daß die kurzzeitigen Schallvorgänge in der Sprache, wie insbesondere in den Konsonanten nicht durch die Einschwingvorgänge im Innenohr verwischt werden dürfen. Auf der anderen Seite steht aber das große Auflösungsvermögen des Ohres, das eingangs erwähnt wurde, und das gebieterisch schmale Resonanzkurven verlangt. Es ist bei den breiten Resonanzkurven nicht recht verständlich; kann man doch nur schwer annehmen, daß die so geringen Unterschiede in den Amplituden benachbarter gerade noch unterscheidbarer Frequenzen von den Nerven angezeigt werden können. Hierzu müßten vielmehr schmale Resonanzkurven vorliegen, die dann allerdings sehr lange Einschwingzeiten zur Folge hätten. Eine Vereinigung beider Forderungen auf physikalischer Basis ist nicht möglich. Einen Lösungsversuch hierzu hat zuerst v. Békésy (15) unternommen, indem er darauf hinwies, daß kleine Amplitudenunterschiede empfindungsmäßig durch eine Art Kontrasteffekt, durch eine scheinbare Erhöhung der Unterschiede stärker hervortreten können. Er verweist dabei auf analoge optische Vorgänge von Helligkeitsempfindungen und außerdem auf Tastempfindungsversuche. Ganz neuerdings hat Gabor (16) in dieser Frage eine andere Lösung vorgeschlagen. Sehr kurz dauernde Töne haben ein breites Spektrum und erregen damit weite Bereiche der Basilarmembran; damit steht in Übereinstimmung, daß solche kurzen Töne subjektiv mehr wie ein Geräusch mit tonaler Färbung wirken. Bei längerer Dauer des Tones tritt das mit dem Ein- und Ausschaltvorgang verbundene Nebenspektrum mehr und mehr zurück, der Vorgang wird monochromatisch, aber trotzdem wird noch ein großer Teil der Basilarmembran wegen der starken Dämpfung der Ohrresonatoren erregt. Die Tonempfindung jedoch entspricht dann der einer einzigen Tonhöhe. Um dieser Tatsache gerecht zu werden, nimmt Gabor einen bestimmten weiteren Mechanismus an, den er in die Nervenleitung verlegt und zwar in dem Sinne, daß bei längerer Tondauer die am stärksten erregte Nervenfaser mit dem auf ihr laufenden Nervenaktionsstrome die Vorgänge auf den benachbarten Nervenfasern unterdrückt, und zwar um so mehr, je länger der Ton eingeschaltet bleibt. Wie er es ausdrückt: die Postulation eines zweiten Mechanismus im Ohr, welcher die offenbar verfeinerte Abstimmung im Falle lang andauernder Schalle erklärt, scheint unausweichlich. Nach seiner Meinung genügt der erste, d. h. der übliche Resonanzmechanismus im Ohr, um Sprache vollständig verständlich zu machen, aber der zweite ist erforderlich, um Musik würdigen zu können. So weit die Erklärungsversuche zur Frage Analysierschärfe und Einschwingzeit.

Es ist noch interessant, zum Abschluß der physikalischen Betrachtungen den Stand der Forschung auf dem Gebiet der Nervenaktionsströme des Gehörnervs zu betrachten, denen ja die Aufgabe zufällt, die Erregung der Basilarmembran zum Zentralorgan fortzuleiten. Es wurde bereits der von Wever und Bray gefundene und nach ihnen benannte Effekt erwähnt, daß in der Schnecke sich ein elektrischer Mechanismus befindet, der wie ein Mikrophon wirkt, den ankommenden Schall in Wechselströme verwandelt und mit dem man z. B. über das Ohr eines Tieres eine Lautsprecherwiedergabe machen kann. Neben diesen Wechselspannungen, deren Bedeutung für den Hörprozeß ganz im Unklaren liegt, entstehen noch die eigentlichen Nervenaktionsströme, die man mit geeignet gebauten Sonden am Eingang des 8. Nervs, aber auch in der Schnecke selbst abnehmen kann. Eine der besten oszillographischen Aufnahmen in dieser Beziehung stammt von Derbyshire und Davis (17) und ist in Fig. 8 wiedergegeben. Sie zeigt unter der Rubrik A das Oszillogramm eines Knackes, aufgenommen mit der elektrischen Sonde am runden Fenster und am Nerv. Am runden Fenster erscheint zuerst der Mikrophoneffekt, nach einer Latenzzeit von etwa 0,7 ms setzt der Nervenaktionsstrom ein, der am Nerv unter geeigneten Aufnahmebedingungen allein vorhanden ist. Nun kommt ein interessanter Versuch, der die eben genannte Aufteilung beweist. Polt man den knackerzeugenden Lautsprecher um, so daß also schallmäßig Überdruck- und Unterdruckphase sich vertauschen, so polt sich auch der Mikrophoneffekt um, dagegen bleiben die Nervenaktionsströme davon völlig unberührt (Teil B). Unter C ist schließlich noch der Einfluß eines zweiten Schalles, eines sogenannten verdeckenden Schalles, z. B. eines lauten Zischens dargestellt. Das zusätzliche Geräusch hat naturgemäß keinen Einfluß auf den Mikrophoneffekt des Knackes, es kommt nur eine Superposition zustande; dagegen werden die Nervenaktionsströme unterdrückt.

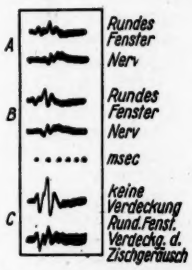

Fig. 8. Oszillogramme des Cochlea-Effektes und der Nervenaktionsströme (nach Derbyshire und Davis).

Mit den Nervenaktionsströmen im Gehörnerven hat man zahlreiche Versuche angestellt. Eine der wichtigsten Fragen ist wohl die, bis zu welcher Frequenz die Nervenaktionsströme noch der Schallerregung folgen können. Man kann diese Vorgänge z. B. am Ohr der Katze studieren. Es zeigt sich, daß bei tiefen Frequenzen die Nervenaktionsströme genau mit der Frequenz synchronisiert sind. Die Synchronisierung reicht etwa bis 3000 oder 4000 Hz. Fig. 9 zeigt dies für zwei Frequenzen, 256 und 1064 Hz; es sind hier als Oszillogramme die erregenden Töne, aufgenommen mit einem üblichen Mikrophon, und die zugehörigen Nervenaktionsströme einander gegenübergestellt (18).

Die einzelne Nervenfaser kennt bekanntlich keine graduelle Erregung, sie gibt entweder eine Anzeige oder sie gibt keine Anzeige; die Größe des gesamten Nervenaktionsstromes und damit die Lautstärkeempfindung kann nur von der Anzahl der erregten Fasern abhängen. Dabei ist es nun, wie man auch aus anderen Gebieten der Physiologie weiß, nicht möglich, daß jede einzelne Faser ununterbrochen einer hohen Frequenz mit ihrer Anzeige folgt. Bei höheren Frequenzen braucht sie nach jeder Anzeige eine gewisse Erholungszeit (Refraktärzeit), sie setzt daher für eine Periode oder bei hohen Tönen sogar für zwei Perioden aus. Diese Alternierung zeigt sehr schön

Fig. 9. Synchronisierung der Nervenaktionsströme (nach C. S. Hallpike, H. Hartridge und A. F. Rawdon-Smith).

Fig. 10, die wir Stevens und Davis (19) verdanken; es ist die maximal mögliche Erregung der Hörnerven in Abhängigkeit von der Frequenz aufgetragen, und man sieht, wie bei einer bestimmten Frequenz, im vorliegenden Fall 800 Hz, der Prozeß der Alternierung einsetzt und sich bei der doppelten Frequenz nochmals wiederholt.

Die Synchronisierung der Nervenimpulse mit dem Schallvorgang hat eine beachtliche Konsequenz für das Richtungshören, die noch erwähnt sei. Es ist bekannt, daß man die Richtung eines Schalles zu einem gewissen Teil aus den zeitlichen Unterschieden folgert, den die Schallerregung an den beiden Ohren hat. Das Richtungshören ist also ein ausgesprochener binauraler Effekt, der deswegen nur im Zentralorgan zustandekommen kann. Dazu müssen aber auch die Zeit- oder Phasenunterschiede bis zum Zentralorgan fortgeleitet werden, und dies geschieht in der Tat durch die Synchronisation der Nervenimpulse mit der Schallerregung auf der Basilarmembran und damit an den beiden Ohren.

Die vorstehenden Ausführungen über den gegenwärtigen Stand der Hörtheorie zeigen, daß man von

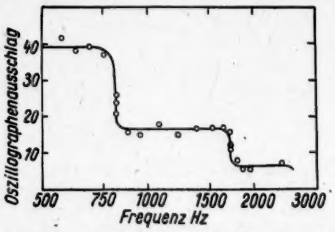

Fig. 10. Maximale Nervenaktionsströme als Funktion der Frequenz (Refraktärzeiten). Messungen von Stevens und Davis.

den physikalisch-akustischen Vorgängen in der Schnecke und von den Nervenaktionsvorgängen im inneren Ohr schon weitgehende Kenntnisse besitzt. Was mit den Nervenimpulsen im Zentralorgan geschieht, darüber weiß man jedoch noch sehr wenig. Aber hier hört auch der Bereich einer „peripheren" Hörtheorie auf.

Göttingen, III. Physikalisches Institut der Universität.

Eingegangen am 25. Februar 1948.

Literatur.

(1) Tröger, J., Phys. Zs. 31, S. 26 (1930). — (2) Kucharski, W., Phys. Zs. 31, S. 264 (1930). — (3) Fletcher, H., Journ. Acoust. Soc. Am. 1, S. 311 (1930). – (4) Békésy, G.v., Akust. Zs. 7, S. 173 (1942). — (5) Jung, H., Akust. Zs. 5, S. 268 (1940). — (6) Ranke, O. F., Akust. Zs. 7, S. 1 (1942). — (7) Békésy, G. v., Phys. Zs. 34, S. 577 (1933). – (8) Békésy, G. v., Phys. Zs. 30, S. 115 (1929). – (9) Ruedi, L., und Furrer, W., Das akustische Trauma, Basel (1947), sowie Physics and Physiology of Acoustic Trauma, Journ. Acoust. Soc. Am. 18, S. 409 (1946). — (10) Békésy, G. v., Akust. Zs. 8, S. 66 (1943). — (11) Stevens, S. S., Davis, H., und Lurie, M. H., Journ. Gen. Psychol. 13, S. 297 (1935). — (12) Wever, E. G., and Bray, C. W., Proc. Nat. Ac. Science 16, S. 344 (1930). — (13) Békésy, G. v., Akust. Zs. 7, S. 173 (1942). — (14) Meyer, E., und Waetzmann, E., Naturwissenschaften 13, S. 268 (1925). — (15) Békésy, G. v., Phys. Zs. 30, S. 721 (1929). — (16) Gabor, Nature 3, S. 591 (1947). — (17) Derbyshire, A. J., und Davis, H., Amer. J. Physiol. 113, S. 476 (1935). — (18) Hallpike, C. S., Hartridge, H. und Rawdon-Smith, A. F. Proc. Roy. Soc. London 122 B, S. 175 (1937) — (19) Stevens, S. S., und Davis, H., Hearing, NewYork, S. 395 (1938).

Probleme der pflanzlichen Dürreresistenz.

Von Otto Stocker.

Etwa die Hälfte der festen Erdoberfläche ist Trockengebiet, ein Drittel Wüste und ein Fünftel Steppe. Dem Problem der pflanzlichen Dürreresistenz ist deshalb von jeher eine große praktische und wissenschaftliche Bedeutung zugekommen. Sie ist in *praktischer* Hinsicht durch die Notwendigkeit, für eine stark gewachsene Menschheit mehr Lebensmittel zu beschaffen, in jüngster Zeit stark gewachsen, indem einerseits die Kultur immer tiefer in die eigentlichen Trockengebiete hinein vorstößt, und andererseits die Erhöhung der Pflanzenproduktion durch künstliche Düngung, ertragreichere Sorten usw. zusammen mit der Verlängerung der Produktionszeit durch den Zwischenfruchtbau auch in an sich humiden Gebieten das Wasser zu einem begrenzenden Faktor gemacht hat. Die *wissenschaftliche* Behandlung ist dahin fortgeschritten, daß wir beginnen, den Wirkungsmechanismus der Dürreresistenz von der molekularen Struktur des Protoplasmas und der pflanzlichen Gesamtkonstitution aus zu verstehen. Von dem Stand dieser wissenschaftlichen Probleme soll im folgenden einiges berichtet werden.

I. Physikalische und physiologische Grundlagen.

Die thermodynamische Wirksamkeit des Wassers ist bestimmt durch sein *chemisches Potential* μ (in folgendem kurz als Potential bezeichnet). Diese Größe spielt für den Reaktionsablauf in der Zelle dieselbe Rolle

wie bei einem galvanischen Element dessen elektrische Spannung. Ebenso wie es hier, wenigstens im Grenzfall eines nahezu reversiblen Arbeitens, nicht auf die Stromstärke ankommt, ist dort die Wassermenge nur insofern von Bedeutung, als sie das Zustandekommen und die Aufrechterhaltung eines bestimmten Potentials ermöglicht und sicherstellt.

Dieses Wasserpotential wird in der Pflanzenzelle beeinflußt durch die Bindung des Wassers als Lösungsmittel im Zellsaft bzw. als Quellungsmittel im Plasma und kann durch die Dampfdruckerniedrigung gegenüber freiem Wasser gemessen werden. Für den Potentialunterschied einer Lösung vom Sättigungsdruck p gegenüber einer Standardlösung vom Dampfdruck p_0 gilt nun

$$\mu - \mu_0 = R \cdot T \ln \frac{p}{p_0}.$$

Es ist einleuchtend, daß man an Stelle dieser Potentialdifferenz auch unmittelbar den relativen Dampfdruck $\frac{p}{p_0}$ verwenden kann, wenn man sich auf Zustände nahezu gleicher Temperatur beschränkt.

In der Pflanzenzelle ist das Potential des Wassers nun nicht nur von dem relativen Dampfdruck ihres Inhaltes abhängig, sondern auch von dem Druck der elastisch gespannten Zellwand. Bezeichnen wir diesen mit W (Turgor) und den osmotischen Druck des Zellsaftes mit P, so bleibt als *Saugkraft* S (genauer Saugspannung) der Zelle $S = P - W$. In S haben wir einen weiteren Ausdruck des Wasserpotentials. Auch dieses Maß kann eine Vereinfachung erfahren, indem man den völlig entspannten Zustand der welken Zelle zugrunde legt, in welchem $S = P$ ist; P kann mit genügender Annäherung kryoskopisch im Preßsaft bestimmt werden. Das ist die als „Hydratur" von Walter (1931) eingeführte Größe (vgl. Walter 1933 und Renner 1933), die meist in Atm. ausgedrückt wird. Den Zusammenhang von P mit dem relativen Dampfdruck liefert unter stark vereinfachenden Annahmen die Formel

$$R\,T \ln \frac{p}{p_0} = P\,V$$

(V = Molvolumen des fl. Wassers), mit welcher die in nebenstehender Tabelle angegebenen Werte berechnet wurden.

Tabelle 1

Rel. Dampfdruck %	Osmot. Druck bei 20° Atm.
100	0
95	68
90	140
80	298
70	476
50	922
30	1555
10	2890

Da das Wasserpotential der Zelle sich stets mit dem ihrer Umgebung ins Gleichgewicht zu setzen versucht, wird eine Dürreresistenz grundsätzlich auf zwei Wegen möglich sein: Einmal, indem das Plasma die Fähigkeit hat, auch bei niederen Potentialen seine Vitalität gegenüber einer sehr kleinen, äußeren, relativen Feuchtigkeit aufrechtzuerhalten, und zum anderen, indem die Pflanze durch ihre Konstitution dem Plasma eine eigene Umgebung mit gegenüber der Atmosphäre erhöhtem Potential schafft. Wir sprechen im ersten Fall von *plasmatischer*, im zweiten von *konstitutioneller Dürreresistenz*. Beide Arten von Resistenz können einzeln oder auch kombiniert vorkommen.

Eine weitere grundsätzliche Unterscheidung ist die zwischen *phänotypischer* und *genotypischer Dürreresistenz*. Die erstere bezieht sich auf die Erscheinungen, die bei *jeder* Pflanze unter der Einwirkung von Dürre eintreten, die letztere auf die Besonderheiten, die den Unterschied der *dürreresistenten* Arten oder Rassen gegenüber den *dürreempfindlichen* ausmachen.

II. Die plasmatische Dürreresistenz.

a) Die Kardinalpunkte.

Das Wasserpotential, bei dem das *aktive*, d. h. aufbauende Leben in einen Ruhezustand übergeht, nennen wir den *Latenzpunkt*, dasjenige, bei dem auch das *latente*, d. h. völlig ruhende und inaktivierte Leben erlischt, den *Letalpunkt*. Diese Kardinalpunkte fassen integral die Dürrewirkungen zusammen.

Den *Latenzpunkt* legen wir dahin, wo das *Wachstum*, bei Einzellern die *Zellteilung* erlischt. Der *Letalpunkt* wird an der *Nicht-mehr-Plasmolysierbarkeit* der Zellen oder an *irreversiblen Zerfallserscheinungen* des Plasmas erkannt. Er wird bestimmt, indem man die zu untersuchende Zelle mit Luft bekannten Wasserpotentials ins Gleichgewicht bringt und darin eine bestimmte Zeit beläßt. Man erreicht das meistens

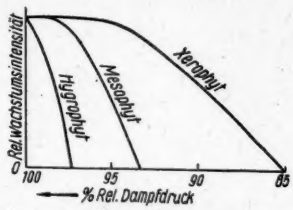

Fig. 1. Aktiver Lebensbereich von Schimmelpilzen. Nach Walter 1931 verändert.

so, daß man das Objekt in einen möglichst kleinen Luftraum über einer Lösung bekannter Konzentration von NaCl, H_2SO_4, $CaCl_2$ oder Zucker bringt (über Versuche in strömender Luft vgl. Hertel).

Die Lage der *Latenzpunkte* und den Verlauf der aktiven Vitalität bei fallendem Wasserpotential für drei *Schimmelpilze* gibt Fig. 1. Die genotypische plasmatische Resistenz ist artspezifisch verschieden, und man kann nach Walter (1931) xerophytische, mesophytische und hygrophytische Arten unterscheiden. Die Lage der Latenzpunkte ist praktisch wichtig für die Konservierung von Lebensmitteln, Holz usw.

Bei etwa 85% r. F. vermutete Walter eine absolute Grenze aktiver Vitalität. Es hat sich dann aber bei anderen Objekten gezeigt, daß der Latenzpunkt bedeutend tiefer liegen kann und *temperaturabhängig* ist. Die Fig. 2 demonstriert das am Beispiel der Alge Pleurococcus vulgaris, die an Baumrinden die be-

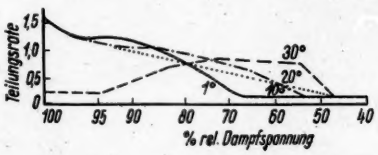

Fig. 2. Aktiver Lebensbereich von Pleurococcus vulgaris bei verschiedener Temperatur. 7 Tage alte Kulturen. Teilungsrate $= \frac{\text{Anzahl Zellteilungen}}{\text{Anfängl. Zellenzahl}}$. Die Teilungsrate 0,16 ist als Nullinie zu betrachten (Teilungen vor Einstellung des Potentialgleichgewichtes). Nach Zeuch.

kannten grünen Überzüge bildet (Zeuch). Der Latenzpunkt verschiebt sich mit steigender Temperatur nach niederen Werten hin, von 68% r. F. bei 1° auf nur 47% bei 20—30°. Gleichlaufend damit geht die Potentialkurve der Vitalität von der einseitigen Form mit Maximum bei 100% r. F. zu einer zweiseitigen mit einem Maximum bei 70—60% über, unter gleichzeitiger Herabsetzung des Optimums. Die Änderung der Kurvenform könnte etwa durch eine bei verschie-

denen Temperaturen verschiedene Potentialabhängigkeit der auf- und abbauenden Stoffwechselvorgänge, deren Differenz das Wachstum ist, zustandekommen.

Auch im *zeitlichen* Verlauf ändert sich die Lage des Latenzpunktes. So hielt sich bei 20° und 60—70% r. F. das Zellteilungswachstum von Pleurococcus zunächst 8 Wochen lang auf gleicher Höhe, um dann, ohne Änderung der Außenbedingungen, rasch abzunehmen. Es muß also der wirkliche Latenzpunkt, der eine *stabile* aktive Vitalität garantiert, erheblich höher liegen, und die anfängliche Aktivität bei einem niederen Potential erscheint am einfachsten erklärbar durch die Annahme, daß die plasmatische Struktur der Zellen in einem *labilen* Spannungszustand zunächst noch erhalten geblieben, dann aber schließlich zusammengebrochen ist. Diese grundlegende Vorstellung wird im folgenden ausführlich unter Beweis gestellt werden.

Als Beispiel für die Lage von *Letalpunkten* erwähnen wir zunächst die *Gezeitenalgen* (Biebl, Höfler 1930), welche den zwischen Hoch- und Niedrigwasser mehr oder weniger lang trocken fallenden Saum der Meeresküsten besiedeln. Im 14-Stundenversuch wird der Letalpunkt für die im allgemeinen dauernd submersen Tiefenalgen der unteren Gezeitengrenze, meist Rotalgen, bei etwa 98% r. F. gefunden, für die untersten Gezeitenalgen bei etwa 93%, für die oberen meist unter 83%. Es ist für die Theorie der plasmatischen Dürreresistenz bedeutungsvoll, daß dieselbe Abstufung bei der *osmotischen* Resistenz gegenüber Meereswasser anormaler Konzentration wiederkehrt. Es ertragen im 24-Stundenversuch die genannten Gruppen Seewasserkonzentrationen vom 0,5 bis 1,5-fachen, vom 0,3 bis 2,2fachen und vom 0,1 bis 3,0fachen der normalen. Diese verschiedene osmotische Resistenz beruht sicher auf plasmatischen Struktureigenschaften. Das ist besonders augenscheinlich bei den Rotalgen der Tiefenzone, bei denen die obere Resistenzgrenze mit dem osmotischen Druck der Zellen zusammenfällt und bei denen die langsame und eigenartig eckig erfolgende Ablösung des Plasmas bei der Plasmolyse auf eine anormal starre Struktur desselben hinweist. Auch beim Letalpunkt der Gezeitenalgen tritt der Zeitfaktor in Erscheinung. Tiefenalgen überdauern bei 72—74% r. F. einen Luftaufenthalt von 1 bis 4 Minuten, Gezeitenalgen der untersten Zone von 8 Minuten und mehr, solche der obersten Zone von Stunden oder gar Tagen. Erwähnenswert ist, daß einige Arten der obersten Spritzzone umgekehrt keinen dauernden Aufenthalt in Wasser aushalten.

Im Bereich echter *Landpflanzen* liegen für *Lebermoose* umfangreiche Letalpunktbestimmungen vor (Höfler 1942, 1943, 1944). Als neue Erkenntnis interessiert uns vor allem der Nachweis, daß sich der Letalpunkt innerhalb ein und derselben Art in Anpassung an die klimatische Änderung des atmosphärischen Wasserpotentials erheblich ändern kann, und das vornehmlich bei meso- und xerophytischen Arten. Es gibt dabei sowohl eine Abhärtung durch Trockenheit als auch eine Verweichlichung durch Feuchtigkeit. Im Versuch kann man das durch langsames, stufenweises Überführen in Luft anderen Wasserpotentials erreichen und dabei etwa den Letalpunkt von Lophozia porphyroleuca von 78% auf 37% r. F. verschieben. In der Natur wirken sich Trocken- und Feuchtwetterperioden aus, indem z. B. Metzgeria conjugata in einem feuchten Monat auf 60% verweichlicht, in einer sehr trockenen Föhnperiode aber auf 6% abhärtet. In der artspezifischen genotypischen Letalresistenz belegen die Lebermoose entsprechend ihrer ökologischen Standorts-Amplitude einen sehr weiten Bereich, der, im 24-Stundenversuch, von über 95% bei der im Gischt von Wasserfällen lebenden Aplozia sphaerocarpa bis zum Vermögen, einen Aufenthalt über konz. H_2SO_4 mehr als einen Monat lang zu ertragen, bei der trockene Kalkfelsen besiedelnden Cololejeunea calcarea geht.

Bei *Gefäßpflanzen* kann man die *plasmalische* Dürreresistenz natürlich nur dann rein erfassen, wenn man die Zellen aus ihrem konstitutionellen Verband herausnimmt, also etwa Schnitte, besonders Epidermis-Flächenschnitte, untersucht. Im üblichen Kurzversuch ergeben sich durchweg hohe Letalpunkte, etwas abgestuft nach der Lage der Zelle in der Pflanze und dem ökologischen Charakter der Art (Iljin 1930): Die großen Zellen der Mark- und Wassergewebe sterben schon in Luft von 99% r. F., Mesophyll- und Epidermiszellen von Hygrophyten bei 97—96%, solche von Xerophyten teilweise erst bei 85%. Später hat sich dann aber gezeigt, daß diese Werte nur für die damals angewandten üblichen Versuchsbedingungen gültig sind (Iljin 1935). Wenn man die Plasmastruktur außergewöhnlich schonend behandelt, d. h. das Austrocknen über vielfach abgestuften Lösungen von H_2SO_4 oder $CaCl_2$ vornimmt, stufenweise vorplasmolysiert und ebenso nach dem Versuch wieder deplasmolysiert, lassen sich alle untersuchten Zellen mindestens 2—3 Tage lang in vollständig ausgetrocknetem Zustand in Zimmerluft lebend erhalten; manche sind noch erheblich härter, wie z. B. Epidermiszellen aus Rotkohlblättern, die wochenlang im Exsikkator ausdauern. Solche Versuche weisen, wie Iljin betont, darauf hin, daß der Dürretod durch mechanische Zerreißungen des Plasmas verursacht ist.

b) Die physiologischen Funktionen.

Auf die integrale Betrachtung der Kardinalpunkte lassen wir nun die differentiale einzelner physiologischer Funktionen folgen. Dabei interessiert in erster Linie der Leistungsabfall innerhalb des aktiven Lebensbereichs.

Über die *physikalische* Grundlage dieser Vorgänge, den Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Wasserpotential des Plasmas, orientiert die Quellungskurve der Fig. 3, die sich auf vakuolenfreies Plasma von Rotalgensporen bezieht. Wie zahlreiche andere quellbare Substanzen, Gelatine, Kasein usw., kann das Plasma vom Zustand voller Wassersättigung aus einen großen Teil seines Quellwassers abgeben, ohne daß dabei eine erhebliche Herabsetzung des Wasserpotentials eintritt. Dann aber, nach Verlust von über der Hälfte des Wassergehaltes und Absinken des Potentials auf etwa 95% rel. Dampfdruck, macht die Kurve einen scharfen Knick, und jeder weitere kleinste Wasserentzug hat eine sehr starke Herabsetzung des Potentials zur Folge. Dieser physikalischen Quellungskurve ist in Fig. 3 eine physiologische Wachstumskurve gegenübergestellt. Da sie sich auf ein ganz anderes Objekt bezieht, hat der Vergleich nur den Wert eines Schemas, das zeigen soll, daß die physiologische Funktion grundsätzlich denselben Verlauf nimmt: Solange das Potential wenig erniedrigt ist, bleibt die physiologische Leistung auch von großen Wasserverlusten kaum berührt; sie sinkt aber schnell ab, wenn das Potential unter den kritischen Punkt, hier etwa 95% r. F., gefallen ist. Wir unterscheiden diese beiden Bezirke als das *Optimum-* und *Minimum-Gebiet.*

Von den einzelnen physiologischen Funktionen stehen die auf- und abbauenden Stoffwechselprozesse an wichtigster Stelle. Eine typische Wasser-

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER MITWIRKUNG

VON

J. BARTELS E. BEDERKE H. BROCKMANN P. TEN BRUGGENCATE C. W. CORRENS
H. v. FICKER R. GRAMMEL O. HAHN R. HARDER M. HARTMANN W. HEISENBERG
A. KÜHN M. v. LAUE H. MARTIUS R. W. POHL H. REIN E. SCHMIDT

HERAUSGEGEBEN

VON

ARNOLD EUCKEN

VIERUNDDREISSIGSTER JAHRGANG 1947

BERLIN UND GÖTTINGEN
SPRINGER-VERLAG
1947

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. 48 der Britischen Militärregierung.
Druck: A. Bagel, Düsseldorf. - Printed in Germany.

Inhaltsverzeichnis.

I. Verzeichnis der größeren Aufsätze und Berichte[1]).

Allgemeines, Geschichte der Naturwissenschaften, Persönliches.

Correns, C. W., Victor Moritz Goldschmidt. A 129.
Engelhardt, W. v., Leibniz als Naturforscher. A 97.
Hagen, B. v., Zum Problem der historischen Diagnose. A 353.
Hettner, G. und O. Hahn, Zur Erinnerung an Otto v. Baeyer. A 193.
Kirchner, F., 50 Jahre Kathodenstrahlteilchen und Braunsche Röhre — 20 Jahre Elektronenwellen und Elektronenlinsen. A 34.
Kossel, W., Walter Kaufmann †. A 33.
Roßmann, R., Der Commentariolus von Nikolaus Kopernikus. A 65.
Schimank, H., Die Physik des 19. Jahrhunderts. A 2.
Walden, P., Zum 100. Todestag von Jöns Jacob Berzelius. A 321.

Astronomie und Astrophysik.

Unsöld, A., Die Kurzwellenstrahlung der Milchstraße, der Sonne und des Mondes. A 194.
Wattenberg, D., Wilhelm Herschels Sterneichungen und Ansichten vom Bau des Sternsystems. A 161.

Reine und angewandte Physik.

Bragg, L., Ein dynamisches Modell einer Kristallstruktur. A 328.
Dieminger, W., Die Beobachtung von Meteoren durch Radiowellen. Ber 29.
Hellwege, K. H., Über die Spektren der kristallinen Salze Seltener Erden. A 225.
Jensen, J. H. und H. E. Sueß, Zur Goldschmidtschen Element-Häufigkeitsverteilung. In Memoriam V. M. Goldschmidt. A 131.
Kirchner, F., 50 Jahre Kathodenstrahlteilchen und Braunsche Röhre — 20 Jahre Elektronenwellen und Elektronenlinsen. A 34.
König, H., Die Gitterkonstante kleiner Kristalle. Ber 375.
König, H., Über das Schmelzen des Kohlenstoffs. A 108.
Meyer, E., Über den derzeitigen Stand der Theorie des Hörens. A 358.
Schäfer, K., Alte und neue Probleme der kinetischen Gastheorie. A 104, 137, 166.
Schmidt, E., Stand unserer Kenntnis der grundlegenden Einheiten und Konstanten der Physik und Technik. Ber 62, 93.
Spitzer, F., Piezoelektrizität und Verwandtes. A 40, 76.
Starke, K., Die Erweiterung des periodischen Systems durch die Transurane. A 69.
Umstätter, H., Rheologie und Strukturmechanik. Ber. 221.

Geophysik, einschließlich Meteorologie.

Firbas, F., Neuere Arbeiten zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetations- und Klimageschichte der Britischen Inseln. Ber 252.
Mecking, L., Thermische Eigenschaften des Polarsommers, besonders auf Spitzbergen. A 201.
Mintrop, L., 100 Jahre physikalische Erdbebenforschung und Sprengseismik. A 257, 289.
Schulze, R., Die biologisch wirksamen Komponenten des Strahlungsklimas. A 238.

Reine und angewandte Chemie.

Bragg, L., Ein dynamisches Modell einer Kristallstruktur. A 328.
Jensen, J. H. und H. E. Suess, Zur Goldschmidtschen Element-Häufigkeitsverteilung. In Memoriam V. M. Goldschmidt. A 131.
Schwarz, R., Die Chemie der Silikone. Ber 285.
Starke, K., Die Erweiterung des periodischen Systems durch Transurane. A 69.
Wicke, E., Neue Ergebnisse über Stabilität und Struktur laminarer Brennerflammen. Ber 318.
Wieland, H., Über den Verlauf der biologischen Oxydation. A 111.

Mineralogie, Geologie, einschließlich Paläontologie, Geographie.

D'Ans, J., Über die Bildung und Umbildung der Kalisalzlagerstätten. A 295.
Correns, C. W., Victor Moritz Goldschmidt. A 129.
Firbas, F., Über die späteiszeitlichen Verschiebungen der Waldgrenze. A 114.
Firbas, F., Neuere Arbeiten zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetations- und Klimageschichte der Britischen Inseln. Ber 252.
Hennig, E., Der Übergang vom Saurier zum Säuger. A 246.
Poser, H., Dauerfrostboden und Temperaturverhältnisse während der Würm-Eiszeit im nichtvereisten Mittel- und Westeuropa. A 10.
Poser, H., Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. A 232, 262.
Wagner, W., Das Gebiet des unterpliozänen Ur-Rheins in Rheinhessen und seine Tierwelt. A 171.

Allgemeine und spezielle Biologie und Physiologie.

Delbrück, M., Über Bakteriophagen. A 301.
Ebbecke, M., Der Schmerz als Reflexempfindung und Affekt. A 336.
Harnisch, O., Hydrophysiologie. A 207.
Henke, K., Einfache Grundvorgänge in der tierischen Entwicklung. I. Über Zellteilung, Wachstum und Formbildung in der Organentwicklung der Insekten. A 149, 180.
Höber, R., Einige neuere Untersuchungen über Bau und Bedeutung der Zelloberfläche und über die Natur des Erregungsvorganges. A 144.
Michaelis, P., Über das genetische System der Zelle. A 18.
Schmidt, W. J., Über homogene und sphäritische Verkalkung bei den verschiedenen Arten des Knochengewebes. A 273.
Schütz, E., Über Herzaktionsströme. A 306.
Schulze, R., Die biologisch wirksamen Komponenten des Strahlungsklimas. A 238.
Schumacher, W., Zur Frage nach den Stoffbewegungen im Pflanzenkörper. A 176.
Stapp, C., Der bakterielle Pflanzenkrebs und seine Bedeutung im Lichte allgemeiner Krebsforschung. A 81.
Stocker, O., Probleme der pflanzlichen Dürreresistenz. A 362.
Strugger, S., Die Vitalfluorochromierung des Protoplasmas. A 267.

Anthropologie und Medizin.

Hagen, B. v., Zum Problem der historischen Diagnose. A 353.
Hennig, E., Südafrikas Primatenfunde. Ber 224.
Vogt, O., Ethnos, ein neuer Begriff der Populations-Taxionomie. A 45.

[1]) A = Aufsatz, Ber = Bericht.

II. Autorenregister[1]).

D'Ans, J., Über die Bildung und Umbildung der Kalisalzlagerstätten. A 295.

Bauch, R., Trypaflavin als Typus der Chromosomengifte. Z 346.
Bertl, K., siehe Engelhard, H. Z 218.
Bielig, H.-J., siehe Hartmann, M. Z 25.
Biermann, L., Über den Mechanismus der Ionisation in der Sonnenkorona. Z 87.
Borries, B. v. und H. Koppe, Unelastische Streuung und diskrete Geschwindigkeitsverluste schneller Elektronen. Z 187.
Bragg, L., Ein dynamisches Modell einer Kristallstruktur. A 328.
Brauer, E. und P., Über leuchtende Übergänge innerhalb des Grundterm-Multipletts der dreiwertigen Ionen der Seltenen Erden. Z 120.
Bredemann, G., K. Garber, P. Harteck und Kl. A. Suhr, Die Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer von Blütenpollen. Z 279.
Brockmann, H. und H. Pini, Actinorhodin, ein roter Farbstoff aus Actinomyceten. Z 190.
Brüner, H. und H. Rindfleisch, Über die biologische Wirkung von Ultraschall. Z 346.
Bünning, E. und L. Haar-Pfaffenhöfer, Die vermittelnde Rolle von Erregungsvorgängen bei der formativen Wirkung des Lichts auf Pflanzen. Z 58.
Bünning, E. und H. Sagromsky, Die Bildung des Spaltöffnungsmusters in der Blattepidermis. Z 191.

Chomse, H. und G. Heinrich, Über die Luminiszenz des Phosphorpentoxyds. Z 122.
Cibis, P., Supramid als neues chirurgisches Implantations- und Nahtmaterial. Z 24.
Correns, C. W., Victor Moritz Goldschmidt. A 129.

O'Daniel, H. und H. Kedesdy, Über eine micellare Silikatstruktur. Z 55.
Delbrück, M., Über Bakteriophagen. A 301.
Dieminger, W., Die Beobachtung von Meteoren durch Radiowellen. Ber 29.
Dieminger, W., Streuerscheinungen bei Mehrfachreflexion zwischen Erde und Ionosphäre. Z 88.

Ebbecke, U., Der Schmerz als Reflexempfindung und Affekt. A 336.
Eisenreich, F., siehe Siedel, W. Z 314.
Engelhard, H., O. Müller und K. Bertl, Oberflächenspannung und fungicide bzw. baktericide Wirkung. Z 218.
Engelhardt, W. v., Leibniz als Naturforscher. A 97.
Eucken, A., Ein Modell für die gehemmte chemische Adsorption hydroxylhaltiger Stoffe an γ-Al_2O_3. Z 374.

Faßbender, J., Zu den optischen und elektrischen Eigenschaften von Kadmiumsulfid. Z 212.
Finkelnburg, W., Über das „Maß für Kernentfernungen" und eine merkwürdige Beziehung zwischen den Grundkonstanten der Physik. Z 53.
Firbas, F., Über die späteiszeitlichen Verschiebungen der Waldgrenze. A 114.
Firbas, F., Neuere Arbeiten zur spät- und nacheiszeitlichen Vegetations- und Klimageschichte der Britischen Inseln. Ber 252.
Flammersfeld, H., siehe Schramm, G. Z 216.
Flaschner, L. und W. Kast, Röntgenographische Bestimmung des Verhältnisses von kristalliner und amorpher Substanz in Zellulosefasern. Z 56.
Flohn, H., Die Wellenstruktur der Singularitäten im Witterungsablauf. Z 249.
Freudenberg, K. und H. Knauber, Die Identität der Sophorose mit synthetischer 2-(β-glucosida)-Glucose. Z 344.
Fricke, R., Zur Oberflächenenergie fester Metalle. Z 313.

Garber, K., siehe Bredemann, G. Z 279.
Gessner, F., Ergänzung und Berichtigung meiner Mitteilung: „Zur Theorie des Generationswechsels der Pflanzen". Z 316.
Giltges, A., siehe Willems, J. Z 216.
Gladisch, H., siehe Senftleben, H. Z 187.
Glemser, O. und G. Lutz, Zur Kenntnis der Molybdänoxyde und des Molybdänblau. Z 215.
Gockel, H., Gangstörungen zweier Pendeluhren durch Kopplung über einen mitschwingenden Pfeiler. Z 53.
Gönnert, R., Zur Frage des Wirkungsmechanismus von Miracil. Z 347.
Göpfert, H. und H. Schaefer, Über eine dem Aktionsstrom des Muskels parallel gehende mechanische Zustandsänderung. Z 348.
Gund, K., Herausführung der Elektronen aus der Elektronenschleuder in einem engen Bündel. Z 343.

Haag-Pfaffenhöfer, L., siehe Bünning, E. Z 58.
Hagen, B. v., Zum Problem der historischen Diagnose. A 353.
Hahn, O., siehe Hettner, G. A 193.
Harnisch, O., Hydrophysiologie. A 207.
Harteck, P., siehe Bredemann, G. Z 279.
Harteck, P. und H. Suess, Der Argongehalt kalihaltiger Minerale und die Frage des dualen Zerfalls von K^{40}. Z 214.
Hartmann, M., F. Graf v. Medem, R. Kuhn und H.-J. Bielig, Über die Gynogamone der Regenbogenforelle. Z 25.
Heberdey, R. F., Neues zum Weberschen Gesetz. Z 349.
Heinrich, G., siehe Chomse, H. Z 122.
Helferich, B. und H. Stetter, Über die Hemmung der Kartoffelphosphatase durch Phosphat- und Arsenat-Ionen. Z 278.
Hellwege, K. H., Über die Spektren der kristallinen Salze Seltener Erden. A 225.
Hellwege, K. H., Bestimmung von Übergangswahrscheinlichkeiten für strahlende und strahlungslose Prozesse in Kristallen. Z 212.
Hennig, E., Der Übergang vom Saurier zum Säuger. A 246.
Hennig, E., Südafrikas Primatenfunde. Ber 224.
Henke, K., Einfache Grundvorgänge in der tierischen Entwicklung I. (Über Zellteilung, Wachstum und Formbildung in der Organentwicklung der Insekten.) A 149, 180.
Hesse, G., Diskussionsbemerkung zur Arbeit von Christa Lindemann: „Eiweißstoffwechsel bei den Blattläusen". Z 315.
Hesse, G. und O. Sauter, Über die Unabhängigkeit der Austauschadsorption und der van der Waalsschen Adsorption an Aluminiumoxyd. Z 250.
Hesse, G. und O. Sauter, Die pH-Abhängigkeit der Adsorption von Säuren und Basen. Z 251.
Hesse, G. und O. Sauter, Die pH-Abhängigkeit der Adsorption amphoterer Stoffe. Z 277.
Hettner, G. und O. Hahn, Zur Erinnerung an Otto v. Baeyer. A 193.
Hiesinger, L., Reflexminderung von Glasoberflächen durch mehrere homogene Interferenzschichten. Z 121.
Hintenberger, H., Über die relativen Häufigkeiten der Lithiumisotope. Z 52.
Höber, R., Einige neuere Untersuchungen über Bau und Bedeutung der Zelloberfläche und über die Natur des Erregungsvorganges. A 144.
Holzapfel, L., Untersuchungen über die Lipoidfraktionen in Staublungen. Organische Kieselsäureverbindungen. VIII. Mitteilung. Z 189.
Holzapfel, L., Beeinflussung des Tuberkulosewachstums durch Quarzstaub. Z 218.
Hoppe, W., Eine neue lichtstarke Röntgenkamera für Pulveraufnahmen. Z 121.

Israël, H., Das Verhalten der Luftstörungen auf Längstwellen bei Absorptionsschwund im Kurzwellengebiet. Z 22.

Jensen, J. H. und H. E. Suess, Zur Goldschmidtschen Element-Häufigkeitsverteilung. In Memoriam V. M. Goldschmidt. A 131.

[1]) A = Aufsatz, Ber = Bericht, Z = Kurze Originalmitteilung.

Jung, K., Der Temperaturgradient an der Erdoberfläche und die radioaktive Wärmeerzeugung in der Erdkruste. Z 213.

Kaplan, R., Einfluß tiefer Temperatur auf die Röntgenstrahlen-Mutationsraten von ruhenden Gerstenkörnern. Z 316.
Kast, W., siehe Flaschner, L. Z 56.
Kedesdy, H., siehe O'Daniel, H. Z 55.
Keicher, G., siehe Wittig, G. Z 216.
Kinder, E., Elektronenstrahlschäden an Kristallen. Z 23.
Kirchner, F., 50 Jahre Kathodenstrahlteilchen und Braunsche Röhre — 20 Jahre Elektronenwellen und Elektronenlinsen. A 34.
Knauber, H., siehe Freudenberg, K. Z 344.
Kneser, H. O., Zur Deutung der Schallabsorption im Wasser. Z 53.
Kneser, H. O., Relaxation der Schwingungswärme als Ursache der Schallabsorption in Flüssigkeiten. Z 54.
Knoll, H., siehe Reuter, B. Z 372.
Köhn, M., Zur Kenntnis des Lichthaushaltes dünner Pulverschichten, insbesondere von Böden. Z 89.
König, H., Über das Schmelzen des Kohlenstoffs. A 108.
König, H., Die Gitterkonstante kleiner Kristalle. Ber 375.
Kofrànyi, E., siehe Turba, F. Z 57.
Koppe, H., siehe Borries, B. v. Z 187.
Kossel, W., Walter Kaufmann †. A 33.
Krebs, A., Fluorochrome in der Strahlenbiologie. Z 59.
Kugler, H., Hummeln und die UV-Reflexion an Kronblättern. Z 315.
Kuhn, R., siehe Hartmann, M. Z 25.
Kuhn, R. und I. Löw, Krystallisation des kopulationsverhindernden Wirkstoffs von Chlamydomonas agametos. Z 283.
Kuhn, R. und I. Löw, Krystallisation des Gynotermons von Chlamydomonas. Z 374.

Landschütz, C., siehe Lettré, H. Z 345.
Laue, M. v., Eine Erweiterung der Theorie der Supraleitung. Z 186.
Lauterjung, K. H., Über einen Sensibilisierungseffekt an UV-Zählrohren. Z 119.
Lettré, H. und R., Aufhebung der Mitosegiftwirkung metallorganischer Verbindungen. Z 127.
Lettré, H. und C. Landschütz, Zur Wirkung der Folinsäure auf die Krebszelle. Z 345.
Lindemann, Ch., Eiweißstoffwechsel bei den Blattläusen. Z 26.
Löw, I., siehe Kuhn, R. Z 374.
Lutz, G., siehe Glemser, O. Z 215.

Mecking, L., Thermische Eigenschaften des Polarsommers, besonders auf Spitzbergen. A 201.
Medem, F. Graf v., siehe Hartmann, M. Z 25.
Meinhold, K. H., Beeinflussung des luftelektrischen Feldes der Erde durch bodennahe Raumladungen. Z 249.
Merkel, E. und Chr. Wiegand, Beziehungen zwischen Ultraviolettabsorption und Molekülbau. Z 122.
Meyer, E., Über den derzeitigen Stand der Theorie des Hörens. A 358.
Michaelis, P., Über das genetische System der Zelle. A 18.
Michaelis, P., Über die Vererbung der Plasmonvarianten reciprok verschiedener Epilobium-hirsutumparviflorum-Bastarde. Z 280.
Mintrop, L., 100 Jahre physikalische Erdbebenforschung und Sprengseismik. A 257, 289.
Mittelstaedt, H., Optische und statische Gleichgewichtsreaktionen fliegender Libellen. Z 281.
Mõwus, F., Über nicht kopulierende Chlamydomonaszellen. Z 282.
Müller, O., siehe Engelhard, H. Z 218.

Neuhaus, A., Erwiderung auf: J. Willems und A. Giltges „Über orientierte Aufwachsungen von hexasubstituierten Benzolderivaten auf organischen Trägergittern". Z 215.

Oppenhauer, R. V., Bildung von Peptidbindungen durch Oxydation von Azomethinen. Z 90.

Pini, H., siehe Brockmann. H. Z 190.
Plank, R. und L. Riedel, Ein neues Kriterium für den Verlauf der Dampfdruckkurve am kritischen Punkt. Z 54.
Plieth, K., Röntgenographische Bestimmung des Valenzwinkels des p,p'-Dijoddiphenylmethans. Z 24.
Plotho, O. v., Farbstoffbildung bei Actinomyceten. Z 190.
Pölnitz, W. v., siehe Siedel, W. Z 314.
Poser, H., Dauerfrostboden und Temperaturverhältnisse während der Würm-Eiszeit im nichtvereisten Mittel- und Westeuropa. A 10.
Poser, H., Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. A 232.
Poser, H., Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. II. Die Frostzerrung und das Winterklima. A 262.

Raadts, E. und H. Söding, Über den Einfluß der Askorbinsäure auf die Auxinaktivierung. Z 344.
Reinholz, E., Röntgenmutationen bei Arabidopsis Thaliana (L) Heynh. Z 26.
Reuter, B. und H. Knoll, Über farbloses kubisches Siliciumcarbid. Z 372.
Riedel, L., siehe Plank, R. Z 54.
Riezler, W., Anregungsfunktionen einiger Kernreaktionen. Z 157.
Rindfleisch, H., siehe Brüner, H. Z 346.
Roeder, D., Untersuchungen über den Stoffwechsel des Schmelzorgans mit Hilfe von künstlichem radioaktiven Phosphor. Z 125.
Roegner-Aust, S., Der Infektionsweg bei der Polyederkrankheit der Nonne. Z 158.
Roßmann, F., Der Commentariolus von Nikolaus Kopernikus. A 65.

Sagromsky, H., siehe Bünning, E. Z 191.
Sauter, O., siehe Hesse, G. Z 277, 250, 251.
Seel, F., Lichtabsorption aromatischer Kohlenwasserstoffe. Z 124.
Seifert, H., Zur Gleitfähigkeit der Metallstrukturen der Magnesiumgruppe. Z 89.
Senftleben, H. und H. Gladisch, Zur Frage der Einwirkung elektrischer Felder auf den Wärmeübergang in Gasen. Z 187.
Siedel, W., W. v. Pölnitz und F. Eisenreich, Bilifuscin und Mesobilifuscin als natürliche Abbauprodukte des Blutfarbstoffes; über Vorkommen und Bildung. Z 314.
Söding, H., siehe Raadts, E., Z 344.
Spitzer, F., Piezoelektrizität und Verwandtes. A 40, 76.
Suess, H. E., siehe Jensen, J. H. A 131.
Suess, H., siehe Harteck, P. Z 214.
Suhr, Kl. A., siehe Bredemann, G. Z 279.
Schaefer, H., siehe Göpfert, H. Z 348.
Schäfer, K., Alte und neue Probleme der kinetischen Gastheorie. A 104, 137, 166.
Schimank, H., Die Physik des 19. Jahrhunderts. A 2.
Schmidt, E., Stand unserer Kenntnis der grundlegenden Einheiten und Konstanten der Physik und Technik. Ber 62, 93.
Schmidt, W. J., Über homogene und sphäritische Verkalkung bei den verschiedenen Arten des Knochengewebes. A 273.
Schmucker, Th., Anthocyan im Holz der Rotbuche. Z 91.
Schöberl, A., Grüngefärbte menschliche und tierische Haare. Z 217.
Schöberl, A. und A. Wagner, Eine neue Synthese von Cystein und Cystin. Z 189.
Schopper, E., Zum Mechanismus der hochenergetischen Kernprozesse der Ultrastrahlung. Z 118.
Schrader-Beielstein, E. v., siehe Turba, F. Z 57.
Schramm, G., und H. Flammersfeld, Versuche zur Reindarstellung einer Kartoffelphosphatase. Z 216.
Schröder, H., Neue optische Filter durch absorptionsfreie Interferenzschichten. Z 277.
Schütz, E., Über Herzaktionsströme. A 306.
Schulze, G. A., Seismische Ergebnisse der Helgoland-Sprengung. Ber 288.
Schulze, R., Die biologisch wirksamen Komponenten des Strahlungsklimas. A 238.

Schumacher, W., Zur Frage nach den Stoffbewegungen im Pflanzenkörper. A 176.
Schwarz, R., Die Chemie der Silikone. Ber 285.
Stapp, C., Der bakterielle Pflanzenkrebs und seine Bedeutung im Lichte allgemeiner Krebsforschung. A 81.
Starke, K., Die Erweiterung des periodischen Systems durch die Transurane. A 69.
Stetter, H., siehe Helferich, B. Z 278.
Stocker, O., Probleme der pflanzlichen Dürreresistenz. A 362.
Strugger, S., Die Vitalfluorochromierung des Protoplasmas. A 267.
Stucken, H., Über eine neue Rechengeräteentwicklung. Ber 32.
Stüber, C., Die Beobachtung von Sprengpunkten mit Funkmeßgeräten. Z 343.
Theissen, E., Präionisation in den Tagesschichten der Ionosphäre. Z 371.
Thiele, H., Richtwirkung von Ionen auf anisotrope Kolloide-Ionotropie. Z 123.
Thiele, H., Biologischer Abbau der Graphitsäure. Z 218.
Turba, F. und E. Kofrányi, Verfahren zur Isolierung und quantitativen Bestimmung des Lysins in Proteinhydrolysaten. Z 57.
Turba, F. und E. v. Schrader-Beielstein, Quantitative Bestimmung der homologen Monoamino-Monocarbonsäuren. Z 57.
Umstätter, H., Rheologie und Strukturmechanik. Ber 221.
Unsöld, A., Die Kurzwellenstrahlung der Milchstraße, der Sonne und des Mondes. A 194.
Valentiner, S., Über den Ersatz des Aluminiums und des Zinns durch Indium in den Heuslerschen Legierungen. Z 123.
Vogt, O., Ethnos, ein neuer Begriff der Populations-Taxionomie. A 45.
Walden, P., Zum 100. Todestag von Jöns Jakob Berzelius am 7. August 1948. A 321.
Wagner, A., siehe Schöberl, A. Z 189.
Wagner, W., Das Gebiet des unterpliozänen Ur-Rheins in Rheinhessen und seine Tierwelt A. 171.
Walkenhorst, W., Ein einfaches Verfahren zur Herstellung strukturloser Trägerschichten aus Aluminiumoxyd. Z 373.
Wattenberg, D., Wilhelm Herschels Sterneichungen und Ansichten vom Bau des Sternsystems. A 161.
Weger, P., Über rein dargestellte hochwirksame Fieberstoffe. Z 59.
Wicke, E., Neue Ergebnisse über Stabilität und Struktur laminarer Brennerflammen. Ber 318.
Wiegand, Chr., siehe Merkel, E. Z 122.
Wieland, H., Über den Verlauf der biologischen Oxydation. A 111.
Willems, J. und A. Giltges, Stellungnahme zu der voranstehenden Erwiderung von A. Neuhaus. Z216.
Windisch, F., Anoxybiose als internes Karzinogen. Z 190.
Wittig, G. und G. Keicher, Über metallorganische Komplexverbindungen. Z 216.

III. Sachregister[1]).

Absorptionsschwund, Das Verhalten der Luftstörungen auf Längstwellen bei —im Kurzwellengebiet. Z 22.
Actinomyceten, Farbstoffbildung bei —. Z 190.
Actinorhodin, ein roter Farbstoff aus Actinomyceten. Z 190.
Adsorption amphoterer Stoffe, *pH*-Abhängigkeit der — — —. Z 277.
Adsorption hydroxylhaltiger Stoffe, Ein Modell für die gehemmte chemische — an γ-Al_2O_3. Z 374.
Adsorption von Säuren und Basen, *pH*-Abhängigkeit der — — —. Z 251.
Aktionsstrom, Über eine dem — des Muskels parallel gehende mechanische Zustandsänderung. Z 348.
Anoxybiose als internes Karzinogen. Z 190.
Anregungsfunktionen einiger Kernreaktionen. Z 157.
Anthocyan im Holz der Rotbuche. Z 91.
Argongehalt kalihaltiger Minerale und die Frage des dualen Zerfalls von K^{40}. Z 214.
Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. A 232, 262.
Austauschadsorption, Über die Unabhängigkeit der — und der van der Waalschen Adsorption an Aluminiumoxyd. Z 250.
Auxinaktivierung, Über den Einfluß der Askorbinsäure auf die —. Z 344.
Azomethinen, Bildung von Peptidbindungen durch Oxydation von —. Z 90.

Baeyer, Zur Erinnerung an Otto v. —. A 193.
Baktericide Wirkung, Oberflächenspannung und fingicide bzw. —. Z 218.
Bakteriophagen. A 301.
Berzelius, Zum 100. Todestag von Jöns Jakob — am 7. August 1948. A 321.
Bilifuscin und Mesobilifuscin als natürliche Abbauprodukte des Blutfarbstoffes; über Vorkommen und Bildung. Z 314.
Blattepidermis, Die Bildung des Spaltöffnungsmusters in der —. Z 191.
Blattläuse, Diskussionsbemerkung zur Arbeit von Christa Lindemann „Eiweißstoffwechsel bei den —n. Z 315.
Blütenpollen, Temperaturabhängigkeit der Lebensdauer von —. Z 279.
Brennerflammen, Neue Ergebnisse über Stabilität und Struktur laminarer —. Ber 318.

Chlamydomonas agametos, Krystallisation des kopulationsverhindernden Wirkstoffs von —. Z 283.
Chlamydomonaszellen, Über nicht kopulierende —. Z 282.
Cystein und Cystin, Eine neue Synthese von —. Z 189.

Dampfdruckkurve, Ein neues Kriterium für den Verlauf der — am kritischen Punkt. Z 54.
Dauerfrostböden und Temperaturverhältnisse während der Würm-Eiszeit im nichtvereisten Mittel- und Westeuropa. A 10.
Diagnose, Zum Problem der historischen —. A 353.
p, p'-Dijoddiphenylmethans, Röntgenographische Bestimmung des Valenzwinkels des —. Z 24.
Dürreresistenz, Probleme der pflanzlichen —. A 362.

Eiweißstoffwechsel bei den Blattläusen. Z 26.
Eiweißstoffwechsel, Diskussionsbemerkung zur Arbeit von Christa Lindemann: „— bei den Blattläusen". Z 315.
Elektronen, Unelastische Streuung und diskrete Geschwindigkeitsverluste schneller —. Z 187.
Elektronenschleuder, Herausführung der Elektronen aus der — in einem engen Bündel. Z 343.
Elektronenstrahlschäden an Kristallen. Z 23.
Elektronenwellen, 50 Jahre Kathodenstrahlteilchen und Braunsche Röhre. 20 Jahre — und Elektronenlinsen. A 34.
Element-Häufigkeitsverteilung, Zur Goldschmidtschen —. A 131.
Entwicklung, Einfache Grundvorgänge in der tierischen —. A 149, 180.
Epilobium-hirsutumparviflorum-Bastarde, Über die Vererbung der Plasmonvarianten reciprok verschiedener — —. Z 280.
Erdbebenforschung, 100 Jahre physikalische — und Sprengseismik, A 257, 289.
Erregungsvorgang, Einige neuere Untersuchungen über Bau und Bedeutung der Zelloberfläche und über die Natur des —s. A 144.

[1]) A = Aufsatz, Ber = Bericht, Z = Kurze Originalmitteilung.

Ethnos, ein neuer Begriff der Populations-Taxionomie. A 45.

Fieberstoffe, Über rein dargestellte hochwirksame —. Z 59.
Filter, Neue optische — durch absorptionsfreie Interferenzschichten. Z 277.
Folinsäure, Zur Wirkung der — auf die Krebszelle. Z 345.
Fluorochrome in der Strahlenbiologie. Z 59.
Frostzerrung, Auftautiefe und — im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. A 232, 262.

Generationswechsel der Pflanzen, Ergänzung und Berichtigung meiner Mitteilung „Zur Theorie des —s". Z 316.
Genetische System, Das — der Zelle. A 18.
Gitterkonstante kleiner Kristalle. Ber 375.
Gleitfähigkeit, Zur — der Metallstrukturen der Magnesiumgruppe. Z 89.
Goldschmidt, Victor Moritz. A 129.
Graphitsäure, Biologischer Abbau der —. Z 218.
Grüngefärbte menschliche und tierische Haare. Z 217.
Gynogamone der Regenbogenforelle. Z 25.
Gynotermon von Chlamydomonas, Krystallisation des —. Z 374.

Helgoland-Sprengung, Seismische Ergebnisse der —. Ber 288.
Herschel, Wilhelm, Sterneichnungen und Ansichten vom Bau des Sternsystems. A 161.
Herzaktionsströme. A 306.
Heuslerschen Legierungen, Über den Ersatz des Aluminiums und des Zinns durch Indium in —. Z 123.
Hören, Über den derzeitigen Stand der Theorie des —s. A 358.
Hummeln und die UV-Reflexion an Kronblättern. Z 315.
Hydrophysiologie. A 207.

Indium, Über den Ersatz des Aluminiums und des Zinns durch — in den Heuslerschen Legierungen. Z 123.
Ionosphäre, Präionisation in den Tagesschichten der — Z 371.
Ionosphäre, Streuerscheinungen bei Mehrfachreflexion zwischen Erde und —. Z 88.
Ionotropie, Richtwirkung von Ionen auf anisotrope Kolloide —. Z 123.

Kadmiumsulfid, Zu den optischen und elektrischen Eigenschaften von —. Z 212.
Kalisalzlagerstätten, Über die Bildung und Umbildung der —. A 295.
Kartoffelphosphatase, Über die Hemmung der — durch Phosphat- und Arsenat-Ionen. Z 278.
Kartoffelphosphatase, Versuche zur Reindarstellung einer —. Z 216.
Kathodenstrahlteilchen, 50 Jahre — und Braunsche Röhre. A 34.
Kernentfernungen, Über das Maß für — und eine merkwürdige Beziehung zwischen den Grundkonstanten der Physik. Z 53.
Kieselsäureverbindungen, organische. Z 189.
Kinetische Gastheorie, Alte und neue Probleme der —n—. A 104, 137, 166.
Knochengewebe, Über homogene und sphäritische Verkalkung bei den verschiedenen Arten des — s. A 273.
Kohlenstoff, Über das Schmelzen des —s. A 108.
Komplexverbindungen, Über metallorganische —. Z 216.
Konstanten der Physik und Technik, Stand unserer Kenntnis der grundlegenden Einheiten und —. Ber 62, 93.
Kopernikus, Der Commentariolus von Nikolaus —. A 65.
Kristallstruktur, Ein dynamisches Modell einer —. A 328.
Kurzwellenstrahlung der Milchstraße, der Sonne und des Mondes. A 194.

Leibniz als Naturforscher. A 97.
Libellen, Optische und statische Gleichgewichtsreaktionen fliegender —. Z 281.
Lichtabsorption aromatischer Kohlenwasserstoffe. — Z 124.
Lichthaushalt, Zur Kenntnis des — s dünner Pulverschichten, insbesondere von Böden. Z 89.
Lichtwirkung, Die vermittelnde Rolle von Erregungsvorgängen bei der formativen — auf Pflanzen. Z 58.
Lithiumisotope, Relative Häufigkeiten der —. Z 52.
Luftelektrisches Feld, Beeinflussung des — n — s der Erde durch bodennahe Raumladungen. Z 249.
Luminiszenz des Phosphorpentoxyds. Z 122.
Lysin, Verfahren zur Isolierung und quantitativen Bestimmung des —s in Proteinhydrolysaten. Z 57.

Meteore, Die Beobachtung von —n durch Radiowellen. Ber 29.
Miracil, Zur Frage des Wirkungsmechanismus von —. Z 347.
Mitosegiftwirkung, Aufhebung der — metallorganischer Verbindungen. Z 127.
Molybdänoxyde, Zur Kenntnis der — und des Molybdänblau. Z 215.
Monoamino-Monocarbonsäuren, Quantitative Bestimmung der homologen — s. Z 57.

Oberflächenenergie fester Metalle. Z 313.
Oberflächenspannung und fungicide bzw. baktericide Wirkung. Z 218.
Organentwicklung der Insekten, Zellteilung, Wachstum und Formbildung in der ———. A 148, 180.
Orientierte Aufwachsungen von hexasubstituierten Benzolderivaten auf organischen Trägergittern. Z 215.
Oxydation, Über den Verlauf der biologischen —. A 111.

Pendeluhren, Gangstörungen zweier — durch Kopplung über einen mitschwingenden Pfeiler. Z 53.
Peptidbindungen, Bildung von — durch Oxydation von Azomethinen. Z 90.
Pflanzenkrebs, Der bakterielle — und seine Bedeutung im Lichte allgemeiner Krebsforschung. A 81.
Physik des 19. Jahrhunderts. A 2.
Piezoelektrizität und Verwandtes. A 40, 76.
Polarsommer, Thermische Eigenschaften des — s, besonders auf Spitzbergen. A 201.
Polyederkrankheit, Der Infektionsweg bei der — der Nonne. Z 158.
Primatenfunde in Südafrika. Ber 224.

Radioaktive Wärmeerzeugung in der Erdkruste. Z 213.
Rechengeräteentwicklung, Über eine neue —. Ber 32.
Reflexminderung von Glasoberflächen durch mehrere homogene Interferenzschichten. Z 121.
Rheologie und Strukturmechanik. Ber 221.
Röntgenkamera, Eine neue lichtstarke — für Pulveraufnahmen. Z 121.
Röntgenmutationen bei Arabidopsis Thaliana (L) Heynh. Z 26.
Röntgenstrahlen-Mutationsraten, Einfluß tiefer Temperatur auf die — von ruhenden Gerstenkörnern. Z 316.

Saurier, Der Übergang vom — zum Säuger. A 246.
Seltene Erden, Über die Spektren der kristallinen Salze —r —. A 225.
Seltene Erden, Über leuchtende Übergänge innerhalb des Grundtermmultipletts der dreiwertigen Ionen der —n —. Z 120.
Siliciumcarbid, Über farbloses kubisches —. Z 372.
Silikatstruktur, Über eine micellare —. Z 55.
Silikone, Die Chemie der —. Ber 285.
Singularitäten, Die Wellenstruktur der — im Witterungsablauf. Z 249.
Sonnenkorona, Über den Mechanismus der Ionisation in der —. Z 87.
Sophorose, Die Identität der — mit synthetischer 2-(β-glucosida)-Glucose. Z 344.

Spaltöffnungsmuster, Die Bildung des —n in der Blattepidermis. Z 191.
Sprengpunkte, Die Beobachtung von —n mit Funkmeßgeräten. Z 343.
Sprengseismik, 100 Jahre physikalische Erdbebenforschung und —. A 257, 289.
Supraleitung, Eine Erweiterung der Theorie der —. Z 186.
Supramid als neues chirurgisches Implantations- und Nahtmaterial. Z 24.
Schallabsorption, Relaxation der Schwingungswärme als Ursache der — in Flüssigkeiten. Z 54.
Schallabsorption, Zur Deutung der — im Wasser. Z 53.
Schmelzorgan, Untersuchungen über den Stoffwechsel des — mit Hilfe von künstlichem radioaktiven Phosphor. Z 125.
Schmerz als Reflexempfindung und Affekt. A 336.
Staublungen, Untersuchungen über die Lipoidfraktionen in —. Z 189.
Stoffbewegungen, Zur Frage nach den — im Pflanzenkörper. A 176.
Strahlungsklima, Die biologisch wirksamen Komponenten des —s. A 238.
Streuung, Unelastische — und diskrete Geschwindigkeitsverluste schneller Elektronen. Z 187.
Strukturmechanik, Rheologie und —. Ber 221.

Temperaturgradient an der Erdoberfläche und die radioaktive Wärmeerzeugung in der Erdkruste. Z 213.
Trägerschichten aus Aluminiumoxyd, Ein einfaches Verfahren zur Herstellung strukturloser ———. Z 373.
Transurane, Die Erweiterung des periodischen Systems durch die —. A 69.
Trypaflavin als Typus der Chromosomengifte. Z 346.
Tuberkulosewachstum, Beeinflussung des —s durch Quarzstaub. Z 218.

Übergangswahrscheinlichkeiten, Bestimmung von — für strahlende und strahlungslose Prozesse in Kristallen. Z 212.
Ultraschall, Über die biologische Wirkung von —. Z 346.
Ultrastrahlung, Zum Mechanismus der hochenergetischen Kernprozesse der —. Z 118.
Ultraviolettabsorption, Beziehungen zwischen — und Molekülbau. Z 122.
Unterpliozäne Tierwelt im Gebiet des Ur-Rheins in Rheinhessen. A 171.
UV-Zählrohre, Über einen Sensibilisierungseffekt an —n. Z 119.

Vegetations- und Klimageschichte, Neuere Arbeiten zur spät- und nacheiszeitlichen ——— der Britischen Inseln. Ber 252.
Vitalfluorochromierung des Protoplasmas. A 267.

Waldgrenze, Über die späteiszeitlichen Verschiebungen der —. A 114.
Wärmeübergang in Gasen, Zur Frage der Einwirkung elektrischer Felder auf den —. Z 187.
Webersches Gesetz, Neues zum —n —. Z 349.
Wirkstoff, Krystallisation des kopulationsverhindernden — s von Chlamydomonas agametos. Z 283.

Zelle, Über das genetische System der —. A 18.
Zelloberfläche, Einige neuere Untersuchungen über Bau und Bedeutung der — und über die Natur des Erregungsvorganges. A 144.
Zellulosefasern, Röntgenographische Bestimmung des Verhältnisses von kristalliner und amorpher Substanz in —. Z 56.

IV. Buchbesprechungen.

Bauer, H. A., Grundlagen der Atomphysik. Eine Einführung in das Studium der Wellenmechanik (C. F. von Weizsäcker). 91.
Bavink, B., Was ist Wahrheit in den Naturwissenschaften? (M. v. Laue). 283.
Brunauer, St., The Adsorption of Gases and Vapours (E. Wicke). 352.
Bünning, E., In den Wäldern Nord-Sumatras (F. Firbas). 284.

Drotschmann, C., Trockenbatterien (C. A. Knorr). 318.

Eitel, W., Die heterogenen Schmelzgleichgewichte silikatischer Mehrstoffsysteme (C. W. Correns). 61.

Glaessner, M. F., Principles of Micropalaeontology (H. Hiltermann). 61.
Grüneberg, H., Animal Genetics and Medicine (H. Nachtsheim). 192.

Helbig, K., Indonesiens Tropenwelt (H. Burgeff). 318.
Höber, R., Physical Chemistry of Cells and Tissus (A. Bethe). 350.

Jordan, P., Die Herkunft der Sterne (P. ten Bruggencate). 28.

Kisskalt, K., Theorie und Praxis der medizinischen Forschung (R. Kepp). 28.

Laue, M. v., Geschichte der Physik (H. Schimank). 60.
Laue, M. v., Theorie der Supraleitung (W. Meißner). 127.
Lockemann, G., Einführung in die Analytische Chemie (W. Böttger). 251.
Luyet, B. J., and P. M. Gehenio, Life and Death at Low Temperatures (H. H. Pfeiffer). 92.

Martini, E., Lehrbuch der Medizinischen Entomologie (A. Hase) 61.
Mertens, R., Die „Typostrophenlehre" im Lichte des Darwinismus (M. Schwarzbach). 283.
Molisch, H., Anatomie der Pflanze (H. Fitting). 317.

Noeggerath, C., Von der geistigen Wurzel der Medizin (B. v. Hagen). 284.

Ruge, U., Übungen zur Wachstums- und Entwicklungsphysiologie der Pflanze (Seybold). 251.

Schanderl, H., Botanische Bakteriologie und Stickstoffhaushalt der Pflanzen auf neuer Grundlage (A. Rippel-Baldes) 159.
Schindewolf, O. H., Fragen der Abstammungslehre (M. Schwarzbach). 283.
Schlink, W., Technische Statik (H. Kauderer). 219.
Schrödinger, E., What is Life (H. Brockmann). 220.

Walden, P., Geschichte der Chemie (G. Lockemann). 128.
Walter, H., Die Grundzüge des Pflanzenlebens und ihre Bedeutung für den Menschen (Burgeff). 92.
Wood, Alan Tom Barnard, Ophthalmidium. A Study of Nomenclature, Variation, and Evolution in the Foraminifera (H. Hiltermann). 220.

potentialkurve der CO_2-*Assimilation* gibt die Fig. 4. Ein breites Optimumgebiet erstreckt sich zwischen 650 und 200% Wassergehalt; für den geringen Abfall der Assimilation in der Nähe der Wassersättigung dürfte ein äußerer Grund, nämlich die gehemmte Diffusion der CO_2 in voll gequollenen Membranen,

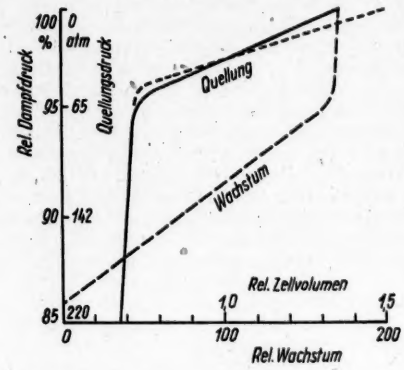

Fig. 3. Protoplasmaquellung (Lemanea-Karposporen) und Wachstum (Aspergillus glaucus) in Abhängigkeit vom Wasserpotential des Mediums. Die punktierte Kurve bezieht sich auf entspannte Zellwände. Nach Angaben von Walter 1923 und 1924.

verantwortlich sein. Unter 200% liegt das Minimumgebiet mit schnellem Abfall der Photosynthese.

Wie bei den Kardinalpunkten bezeichnen auch hier die in Kurzversuchen bestimmten Wasserpotentiale keine stabilen Gleichgewichte, sondern *labile Spannungszustände*, die bei längerer *Dauer der Dürre* mehr und mehr zu Zusammenbrüchen und Leistungsabfällen führen und bei Wiederbefeuchtung Zeit zur Erholung brauchen. So erreicht, um wieder mit den *Gezeitenalgen* zu beginnen, nach einer fünfstündigen Austrocknung im Schatten in der ersten Viertelstunde der Wiedereinquellung Fucus platycarpus 97 % seiner normalen Leistung, F. vesiculosus nur 72% und F. serratus gar nur 42%, und nach einer schärferen, 3 Tage dauernden Austrocknung, zuerst in der Sonne, sind die Zahlen nach 8—9 Stunden Wiedereinquellung für F. platycarpus (var. spiralis) 49%, F. vesiculosus 20%, während F. serratus, obwohl noch lebend, die Fähigkeit zur Photosynthese irreversibel eingebüßt hat (Montfort). In ökologischer Hinsicht entsprechen die verschieden abgestuften Dürreresistenzgrade den Standorten der 3 Arten, indem F. serratus die am wenigsten lang trocken fallenden untersten, F. vesiculosus die mittleren und F. platycarpus die obersten, länger trocken als naß liegenden Zonen des Litorals besiedelt.

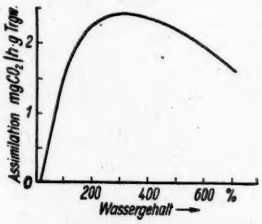

Fig. 4. Assimilation eines Mooses (Hylocomium proliferum) in Abhängigkeit vom Wasserpotential. 19°, 8000 Lux. Nach Stålfelt 1937.

Für eine an Baumstämmen lebende *Flechte* zeigt Fig. 5 den Leistungsabfall und die Erholung nach verschieden langer Austrocknung.

Für die *Atmung* gilt grundsätzlich dieselbe Potentialabhängigkeit. Die Kurve verläuft aber flacher und durchdringt, wenn auch schließlich mit unmeßbar kleinen Werten, auch das ganze latente Lebensgebiet (Fig. 6), da ohne Energieaufwand der vitale Zustand des Plasmas nicht erhalten bleiben kann. Die Bedeutung der Atmung als Energiequelle macht es auch verständlich, daß nach Austrocknungsperioden zu Beginn der Wiedereinquellung die Atmung von Algen und Moosen stark erhöht ist (Montfort, Stålfelt 1937), um die zerstörten Plasmastrukturen wieder aufzubauen.

Wie aus der Fig. 6 hervorgeht, verschiebt sich mit abnehmendem Wasserpotential das Verhältnis Assimilation: Atmung von einem Überschuß der ersteren zu einem Überschuß der letzteren. Es ist das ein Ausdruck des *allgemeinen Übergangs eines synthetisch-aufbauend in einen hydrolytisch-abbauend gerichteten Stoffwechsel.* Man beobachtet in welkenden Pflanzen den Abbau der Stärke in Di- und weiter in Monosacharide und den Abbau von Eiweiß (Mothes, Syssakjan). Die jeweilige Richtung des Stoffwechsels wird

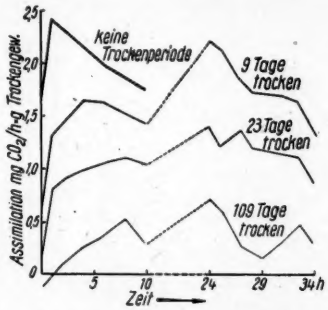

Fig. 5. Assimilation einer Flechte (Ramalina farinacea) nach vorangegangener Trockenperiode. 20°, 16000 Lux. Nach Stålfelt 1939.

auf die verschieden gerichtete Aktivität der Enzyme — Invertase, Phosphatasen, Peroxydase und Proteasen wurden von Syssakjan besonders untersucht — zurückgeführt, die selbst wieder von der kolloidalen Plasmastruktur in einer später näher zu erörternden Weise abhängen dürfte (Bünning).

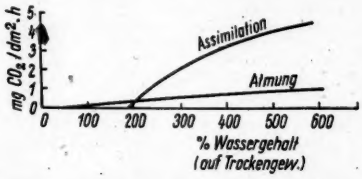

Fig 6. Assimilation (18°) und Atmung (21—22°) der Alge Porphyra laciniata in Abhängigkeit vom Wasserpotential. Nach Stocker und Holdheide.

Ein solcher Wechsel in der Richtung des Stoffwechsels ist schon im normalen *Tagesrhythmus* von Blättern nachzuweisen, sobald bei schönem Wetter eine mittägliche Verschlechterung der Wasserbilanz

Tabelle 2. *Askorbinsäure und Redoxpotential von Salatblättern am 19. 9. 1948.*

Zeit	p_H	Askorbinsäure reduz. mg/dm²	Askorbinsäure oxyd. mg/dm²	Askorbinsäure oxyd./reduz.	E_h mV
7.00	6,01	0,428	0,070	0,166	66,3
10.00	5,83	0,475	0,125	0,246	77,6
13.00	6,00	0,658	0,152	0,231	70,9
16.00	5,80	0,668	0,055	0,082	63,4
19.00	5,95	0,570	0,062	0,108	63,0

eintritt. Die Tabelle 2 zeigt das zunächst am Beispiel des *Redoxpotentials*, das an dem System Reduzierte Askorbinsäure ⇄ Oxydierte Askorbinsäure gemessen wird (Eisele). An dem Quotienten $\frac{\text{oxydierte Askorbinsäure}}{\text{reduzierte Askorbinsäure}}$ und an dem Redoxpotential E_h erkennt man die Verschiebung nach der oxydativ-abbauenden Seite während der Wasserpotentialerniedrigung über Mittag. Ganz dasselbe ergibt der

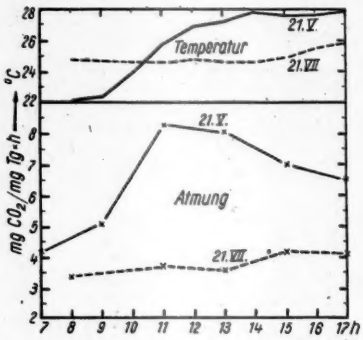

Fig. 7. Tagesgang der Atmung optimal bewässerter Weizenpflanzen an Schönwetter- (21. 5.) und Schlechtwetter- (21. 7.) Tagen. Nach Kraft.

Verlauf der *Atmung* an warmen Schönwettertagen in Fig. 7 (Kraft). Unter extremen Dürrebedingungen steigert sich der Abbau bis zum Zusammenbruch des Stoffwechsels; der Quotient $\frac{\text{oxyd. Askorbins}}{\text{red. Askorbins}}$ kann dann Werte bis über 1 erreichen, und die Atmung ist fieberhaft überhöht.

Sehr interessant ist nun, den *zeitlichen* Ablauf eines starken Dürreeffektes zu verfolgen, wie ihn etwa die Fig. 8 für die Atmung von Haferblättern aufzeichnet (Kraft). Der Versuch geht aus von Kulturen in

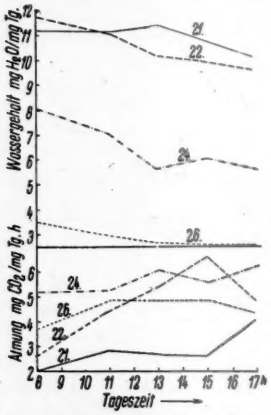

Fig. 8. Wassergehalt und Atmung von Haferblättern während einer Dürreperiode. Wassergehalt des Bodens am 21. 7. gleich 70% der Kapazität, am 22. 7. gleich 54%, am 24. 7. gleich 39%, am 26. 7. gleich 30%. Nach Kraft.

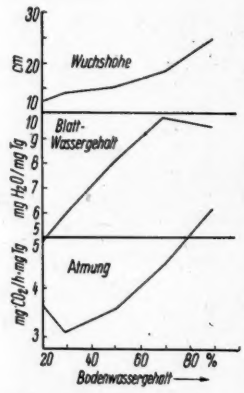

Fig. 9. Wachstum, Wassergehalt und Atmung von Haferpflanzen bei Kultur in Böden konstanten Wassergehaltes. Nach Kraft.

optimal durchfeuchtetem Boden mit einem Wassergehalt von 70% der vollen Wasserkapazität. In einer sonnigen Warmwetterperiode trocknet der Boden vom 21. bis 26. 7. bis zu 30% aus und wird dann auf diesem Austrocknungsgrad gehalten. Vom 21. 7., der der einzige Schlechtwettertag der Versuchsserie ist, bis zum 24. 7. steigt die Atmung mit fallendem Wasserpotential der Blätter dauernd an, was sich vor allem auch in dem Ausfall der nächtlichen Erholung ausdrückt. Sobald sich aber am 26. 7. das Wasserpotential des Bodens und der Pflanze stabilisiert, beginnt die Atmung auf die ursprüngliche Intensität und den normalen Tagesrhythmus zurückzukehren, obwohl jetzt das Potential auf einem sehr niederen Wert gegenüber dem ursprünglichen liegt. Als *Dürrereiz* wirkt also nur der *fortschreitende* Vorgang des Absinkens des Wasserpotentials, nicht aber der *fertige* Zustand der vollzogenen Absenkung. Sobald dieser eingetreten ist, setzt sich die *Dürrereaktion*, hier die Atmungssteigerung, nicht länger fort, sondern wird abgelöst von der *Restitution* des ursprünglichen Zustandes. Lassen wir diese Phase auslaufen, indem wir bei konstant 30% Bodenwassergehalt weiterkultivieren, so führt sie unter den ursprünglichen Atmungsspiegel bei 70% Bodenfeuchtigkeit hinab auf einen neuen *tieferen* Gleichgewichtsspiegel (Fig. 9). Diese Erniedrigung des Atmungsspiegels bei konstanter Dürre steht in Harmonie mit der gesenkten Assimilation und dem damit gegebenen verminderten Wachstum (Fig. 9). Daß bei der ganz extremen Dürre von nur 20% Bodenwassergehalt die Atmungswerte wieder ansteigen, ist als pathologischer Vorgang vor dem letalen Ende zu werten.

c) Die Struktur des Plasmas.

Das besprochene Tatsachenmaterial weist darauf hin, daß der erste Angriff der Dürre an der Struktur des Protoplasmas erfolgt, und zwar wahrscheinlich durch mechanische Zerreißungen. Diese zuerst von Iljin ausgesprochene Vorstellung läßt sich jetzt weiter stützen und vertiefen durch die Ergebnisse von *Schüttelversuchen* (Kahl), bei denen eine mechanisch bewirkte Lockerung der Plasmastruktur dieselben physiologischen Vorgänge im Gefolge hat, die bei den Dürrereaktionen auftreten.

Nach etwa halbstündigem Verweilen von Blättern und anderen Pflanzenorganen auf Schüttelapparaten beobachtet man folgende, allmählich wieder abklingende *Schüttelreaktionen:* Verminderung der Viskosität, Erhöhung der Permeabilität (untersucht für Wasser, Harnstoff und Glyzerin), Erhöhung der Quellungskapazität, Steigerung der Transpiration, Herabsetzung der CO_2-Assimilation, Steigerung der Atmung, Herabsetzung des p_H-Wertes in der Zelle.

Die *Theorie* des Schütteleffektes geht von der in der Kolloidchemie als Thixotropie bekannten Erscheinung aus, daß bestimmte Gele von Metalloxyden und organischen Stoffen durch Schütteln vorübergehend in einen Solzustand übergeführt werden (Freundlich). Daß auch im lebenden Plasma solche Verflüssigungszustände auftreten können, hat zuerst 1890 Pfeffer bei Myxomyceten gezeigt. Péterfi und Olivo, welche die Erscheinung an Explantatzellen des Hühnerembryoherzens genauer studierten, haben dann 1927 darauf hingewiesen, daß auch im optisch homogen erscheinenden Plasma in bestimmten Fällen das Vorhandensein eines „feinen Fadengerüstes" angenommen werden muß. Neuerdings ist von Frey-Wyssling ein *mizellares Netzwerk aus Eiweißfibrillen* als generelle Grundlage der plasmatischen Struktur begründet worden, und diese Vorstellung wird heute in der Physiologie sehr allgemein anerkannt. Die einzelnen Fibrillen des Plasmagerüstes sind nach dieser Theorie durch *Haftpunkte* sehr verschiedener Natur und Festigkeit, von nur adsorptiver Anlagerung bis zu chemischer Valenz, miteinander verknüpft, teilweise so locker, daß schon die Brownsche Molekularbewegung dauernd Lösungen und Verknüpfungen bewirken muß. Dieses normale Gleichgewicht wird durch Schütteln in Richtung einer stärkeren Lockerung verschoben; nach dem Aufhören des Schüttel-

reizes stellt sich allmählich wieder das alte Gleichgewicht ein. Dieselben Vorgänge betreffen auch die in der Zellflüssigkeit vorhandenen hochmolekular vernetzten Kohlehydrate.

In gleicher Weise wie mechanische Schüttelstöße wirken beim *Austrocknen* die *mechanischen Spannungen*, die durch die ungleiche Quellbarkeit der einzelnen Teile des Eiweißgerüstes entstehen und über kurz oder lang zu Lockerungen und Zerreißungen des Netzwerkes führen. Diese plasmatische Strukturänderung führt zu folgenden *Dürrereaktionen:* 1. Durch die Vergrößerung der Maschenweite erniedrigt sich die Strukturviskosität und erhöht sich die Porenpermeabilität und mit ihr die Transpiration. 2. Durch die Freilegung bisher verklebter Fibrillenstrecken treten bisher blockierte polare und ionisierte Gruppen in Wirksamkeit und verursachen eine Erhöhung der Quellungskapazität und der negativen Überschußladung des Plasmas. 3. Durch die Freilegung oder wahrscheinlicher Abspaltung adsorptiv angelagerter Fermente tritt eine Erhöhung der Atmung und allgemein die Wendung des Stoffwechsels nach der hydrolytisch abbauenden Richtung ein. 4. Durch die Strukturstörung in den Chloroplasten wird die Assimilation gehemmt. Das damit eintretende Überwiegen der O_2 verbrauchenden und CO_2 erzeugenden Prozesse führt zu einer Herabsetzung des p_H-Wertes in der Eiweißgerüst-Zwischenflüssigkeit und damit, sobald das Aufhören des Dürrereizes die entgegengesetzte Tendenz aufhebt, zu einem Wiederrückgang der negativen Überschußladung des Gerüstes. Dessen Fibrillen nähern sich mit dem Abfallen der elektrostatischen Spannung einander, und das Strukturgleichgewicht verschiebt sich wieder nach der Richtung stärkerer Verknüpfung. Damit ist die Reaktionsphase in die *Restitutionsphase* übergegangen. Diese führt nach einer sehr starken vorausgegangenen Dürrereaktion zu einer Überkompensation, d. h. zu einer dichteren Knüpfung des Maschenwerkes, zumal wenn ein niederer stabilisiertes Wasserpotential sowieso durch stärkere Entquellung das Netz zusammenzieht. Jetzt ist der Stoffwechsel stark nach der reduktiv-aufbauenden Seite eingestellt, wir finden die Atmung herabgesetzt (Kraft) (Fig. 9), die Assimilationsfähigkeit erhöht (Simonis), die Strukturviskosität vergrößert und die Porenpermeabilität (für Wasser und Harnstoff) vermindert (Schmidt; Schmidt, Diwald und Stocker). Dies ist die *Abhärtungsphase* (Tumanow), die natürlich auch nur ein vorübergehendes Gleichgewicht darstellt.

Damit ist eine Theorie der *phänotypischen* plasmatischen Dürreresistenz gegeben, d. h. der Vorgänge, die sich in *jeder* Pflanze bei Herabsetzung des Wasserpotentials abspielen. Jetzt bleibt nach dem Wesen der *genotypischen* plasmatischen Dürreresistenz zu fragen, d. h. nach den Eigentümlichkeiten, in denen sich *dürreempfindliche* und *dürreresistente* Arten und Rassen unterscheiden. Hier ist die Analyse noch nicht weit vorgedrungen. Man wird annehmen dürfen, daß resistente Pflanzen sich durch eine höhere Elastizität und Zerreißfestigkeit des Plasmagerüstes auszeichnen; die gegenteilige Eigenschaft dürreempfindlicher Pflanzen haben wir bei den Rotalgen kennengelernt. Bei den dürreresistenten Sorten von Hafer, Gerste, Weizen und Zuckerrüben ergibt sich in der Tat eine dichtere Verknüpfung des Plasmanetzes aus der gegenüber den dürreempfindlichen Sorten größeren Plasmaviskosität (Schmidt, Diwald und Stocker); auch ist im Vergleich der Arten die resistentere Gerste gegenüber dem empfindlicheren Hafer durch hohe Viskositätswerte ausgezeichnet.

Neben der inneren Zerreißfestigkeit des Plasmas können *äußere Organisationseigenheiten* die *Zerreißgefahr* herabsetzen. Dahin gehören Kleinheit der Zellen und Kleinheit oder Fehlen der Vakuolen, wodurch ein niederer Quotient $\frac{\text{Oberfläche}}{\text{Volumen}}$ erreicht wird (Iljin 1930). Bei austrocknungsfähigen xerophytischen Farnen wie Notochlaena maranthae (Iljin 1931) und Ceterach officinarum (Rouschal) sind zwar große Zellen mit großen Vakuolen vorhanden, aber hier erstarrt die Vakuolenflüssigkeit beim Austrocknen zu einer festen Masse, um die sich das austrocknende Plasma herumlegt.

III. Die konstitutionelle Dürreresistenz.

a) Die niederen Pflanzen.

Als konstitutionelle Dürreresistenz haben wir eine morphologische und physiologische Organisation definiert, die für das Plasma ein gegenüber der freien Atmosphäre erhöhtes Wasserpotential schafft. Bei den *niederen Pflanzen* (Thallophyten und Bryophyten) ist das nur in sehr beschränktem Maße möglich, weil bei ihnen die Aufnahme des Wassers durch dieselben Zellflächen erfolgt wie die Wiederabgabe bei der Verdunstung. Solange es sich nur um die Aufnahme und Abgabe von Wasserdampf handelt, folgt daher das Wasserpotential dieser Organismen den Schwankungen desjenigen der Atmosphäre (Fig. 10). Wenn aber flüssiges Wasser in Form von Regen, Nebel oder Tau aufgenommen wird, entsteht für einige Zeit ein Ungleichgewicht der Wasserpotentiale, weil die Wasseraufnahme infolge der hohen Quellungskräfte der Membranen und der Kapillarkräfte der Interstitienräume sehr viel schneller erfolgt als die Wiederabgabe in Dampfform, wie die Fig. 11 für eine Flechte zeigt (Stocker 1927).

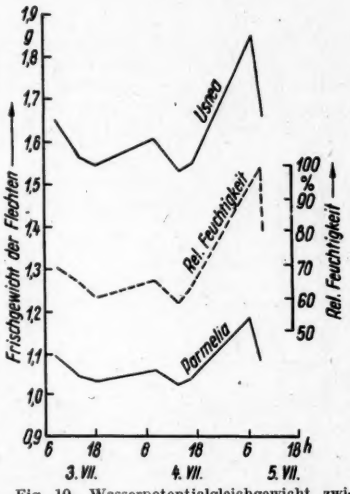

Fig. 10. Wasserpotentialgleichgewicht zwischen Flechten und Atmosphäre. Usnea hirta und Parmelia furfuracea. Nach Stocker 1927.

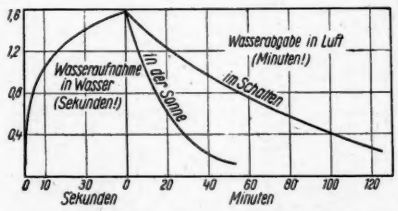

Fig. 11. Aufnahme flüssigen Wassers (in Sekunden!) und Abgabe von Wasserdampf (in Minuten!) bei einer Flechte (Lobaria pulmonaria). Nach Stocker 1927.

Die *Dauer* dieses Ungleichgewichtes ist von entscheidender Bedeutung für die Dauer der aktiven Vitalität der Pflanze und damit für ihren Stoff-

gewinn und ihre Lebensmöglichkeit. Sie ist abhängig einerseits von der Wasserkapazität der quellbaren Membranen und infiltrierbaren Interstitien, andererseits von dem Verhältnis $\frac{\text{Volumen}}{\text{Oberfläche}}$ des Pflanzenkörpers. Wir erläutern das am Beispiel der *Gezeitenalgen* (Stocker und Holdheide). In Fig. 12 ist der Austrocknungsverlauf nach dem Trockenfallen und die jeweilige Assimilationsintensität dargestellt. Die $\frac{\text{Volumen}}{\text{Oberfläche}}$ — großen Fucaceen mit dicken Membranen und zahlreichen Interstitien erhalten sich viel länger feucht als die papierdünnen Enteromorpha —

Tabelle 3. *Gesamtassimilationsüberschuß während einer Ebbezeit.*

	mg CO_2 auf	
	1 dm² Oberfläche	1 g Trockengewicht
Porphyra atropurpurea	4,5	23
Enteromorpha Linza	6	25
Fucus platycarpus	37	16
„ vesiculosus	33	16
„ serratus	51	27

und Porphyra-Thalli und haben infolgedessen viel längere aktive Vitalitätsperioden. Man muß sich aber sehr hüten, aus den auf die Flächeneinheit bezogenen Assimilationsgewinnen auf den Gesamtlebenshaushalt der verschiedenen Arten zu schließen. Für diesen

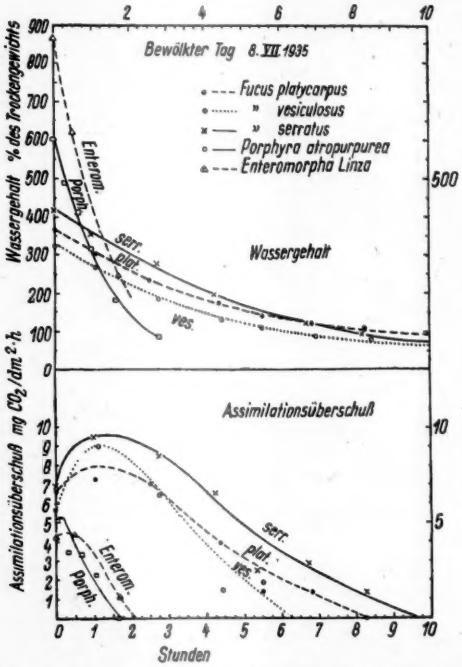

Fig. 12. Austrocknung und Assimilation Helgoländer Gezeitenalgen an einem bewölkten Tag. Nach Stocker und Holdheide.

muß vielmehr der Stoffgewinn auf die Gewichtseinheit des Plasmas bezogen werden. Als Näherungswerte geben wir in Tabelle 3 die auf 1 g Trockengewicht erzielten Gesamtgewinne während der Zeit des Trockenliegens am Standort. Es zeigt sich jetzt, daß in der ökologischen Gesamtauswirkung der äußerst hydrolabile Typ der beiden ersten Arten nicht schlechter abschneidet als der länger feucht bleibende der drei letzten.

b) Die Gefäßpflanzen.

Den entscheidenden Schritt in Richtung einer konstitutionellen Dürreresistenz hat die Pflanzenwelt erst mit der Entwicklung der *Gefäßpflanzen* (Kormophyten) getan, für welche Wurzel, Gefäßsystem, Kutikula und Spaltöffnungen neue Organisationseinrichtungen sind. Sie ermöglichen als neues Prinzip des Wasserhaushaltes die Trennung des Ortes der Wasseraufnahme von dem der Wasserabgabe, die Verlegung der Wasseraufnahme in den Erdboden als einem Medium mit viel höherem und konstanterem Wasserpotential als die Atmosphäre und die Schaffung eines hohen und konstanten Wasserpotentials im Inneren des Pflanzenkörpers unter Hemmung und Regulation der Wasserabgabe aus den Blättern. Damit ist der Weg eröffnet von der *hydrolabilen* (Stålfelt) und *poikilohydren* (Walter 1931) Organisation der *niederen* Pflanzen zur *hydrostabilen* und *homoiohydren* der *höheren*, ein Schritt, der in seiner ökologischen Bedeutung etwa dem Übergang von der Poikilothermie zur Homoiothermie im Tierreich entspricht.

Es ist begreiflich, daß die neue Organisation in der primitiven Stufe, d. h. bei den *Farnen*, vielfach noch unvollkommen ist, so daß diese Organismen entweder, wie die Hymenophyllaceen (Härtel), an Standorte dauernd hoher Luftfeuchtigkeit gebunden bleiben[1]) oder, wie die schon erwähnten xerophytischen Farne, bei Dürre auf eine hohe plasmatische Letalresistenz zurückgreifen (Walter 1931). Das Letztere gilt in vereinzelten Fällen auch noch von Blütenpflanzen, wobei die Scrophulariacee Chamaegigas intrepidus wohl das merkwürdigste Beispiel bietet. Sie wächst in Südwestafrika in flachen Felsmulden, welche sich in der Regenzeit mit Wasser füllen, in der Trockenzeit aber völlig austrocknen. Dann schrumpft das Pflänzchen zu einer Mumie dürrer Blättchen und Würzelchen zusammen, die sich, in Wasser gebracht, fast momentan, innerhalb einer knappen Viertelstunde, wieder zu einer voll aktiven Gestalt entfaltet (Heil).

In der Regel ist aber bei den Kormophyten die ökologische *Austrocknungsfähigkeit* des Plasmas weitgehend verlorengegangen. Wenn der Wassergehalt eines Blattes einen gewissen Betrag unterschreitet, erfolgt eine irreversible Schädigung, und das Blatt kann sich bei Wiederzufuhr von Wasser nicht mehr erholen. Man mißt dieses letale Wasserdefizit in Prozenten des Wassergehaltes bei Sättigung

$$\left(\frac{\text{Sättigungswassergeh.} - \text{momentaner Wassergeh.} \cdot 100}{\text{Sättigungswassergehalt}}\right)$$

und findet es im allgemeinen bei etwa 60% (Oppenheimer; Rouschal 1938, Pisek und Berger; Höfler, Migsch und Rottenburg). Xerophyten können meistens stärkere Austrocknung ertragen, wie z. B. Hieracium pilosella bis zu 87% und Cistus bis zu 82%, aber das gilt nicht grundsätzlich, indem z. B. Aster linosyris und Pistacia schon bei 48% die letale Grenze erreichen, während umgekehrt ein so ausgesprochener Hygrophyt wie Impatiens noli tangere erst bei etwa 65% letal geschädigt wird. In der hydrostabilen Kormophytenorganisation ist eben die Höhe des letalen Grenzwertes weniger wichtig als die Zeitdauer bis zu seiner Erreichung. Sie ist nach Schließung der Spaltöffnungen bestimmt durch das Verhältnis $\frac{\text{letales Wasserdefizit}}{\text{kutikulare Transpiration}}$. In dieser Berechnung bleibt der Hygrophyt Impatiens noli tangere mit dem Wert 4 deutlich zurück hinter Xerophyten wie Stachys recta mit 16 oder Immergrünen wie

[1]) Es gibt aber auch einzelne plasmatisch-dürreresistente Arten (Bünning, E.: „In den Wäldern Nord-Sumatras", Bonn (1947) und briefliche Mitteilung (1948) von Herrn Dr. S. Rehm aus Südafrika).

Rhododendron ferrugineum mit 59 oder Sukkulenten wie Sedum maximum mit 90 oder gar einer Opuntia mit über 4000 (Pisek und Berger).

Der wesentliche Sinn der kormophytischen Organisation ist, den Bereich des *aktiven Lebens* zu verbreitern und innerhalb dieses Bereichs die aufbauende Stoffwechselphase möglichst weitgehend im rhythmischen Optimum zu erhalten. *Das grundsätzliche Problem dabei ist, wie der Organismus bei Dürre den Wasserumsatz einschränken und gleichzeitig die* CO_2-*Assimilation aufrechterhalten kann;* denn zum ersten Behuf muß er die Spalten möglichst geschlossen, zum zweiten aber möglichst offen halten. In Anpassung an den äußeren Klimarhythmus und in Ausbildung spezieller Organisationseinrichtungen haben die Kormophyten zur Erreichung dieses Zieles 4 Hauptwege eingeschlagen, wobei oft von derselben Art gleichzeitig mehrere genützt werden: 1. Die Dürrezeit wird umgangen, indem sich die Pflanze in den Zustand des latenten Lebens zurückzieht, die *Samenruhe* bei Einjährigen, die *Rhizom-, Zwiebelknollen-* und *Knospenruhe* bei Mehrjährigen. 2. Der Wasserhaushalt wird ohne allzu große Einschränkung der Transpiration und Schließung der Spalten bilanziert durch eine außerordentlich gesteigerte Wasseraufnahme (Vassiljev). Das ist nur möglich beim Vorhandensein von *Grundwasser*, dem dieser Typ mit 14 und mehr Meter tief reichenden Wurzeln nachgeht (Huber, Shreve). 3. Für die Dürrezeit werden Wasservorräte gespeichert bei den *Sukkulenten*. Das setzt genügend ergiebige und regelmäßige Regenzeiten voraus. 4. Der Dürre wird bei beschränkter Wasseraufnahme und -abgabe durch eine sehr feine gegenseitige Abstimmung der einzelnen Funktionen Trotz geboten. Dies sind die im engeren Sinne *Dürreresistenten* (Maximow). Bei ihnen und bei den Sukkulenten liegen in erster Linie die Probleme der konstitutionellen Dürreresistenz, denen hier nur hinsichtlich der Dürreresistenten nachgegangen werden soll, da das Sonderproblem der Sukkulenten, die ökologische Beziehung ihres Säurestoffwechsels zur Assimilation und Spaltöffnungsbewegung, noch zu wenig geklärt ist.

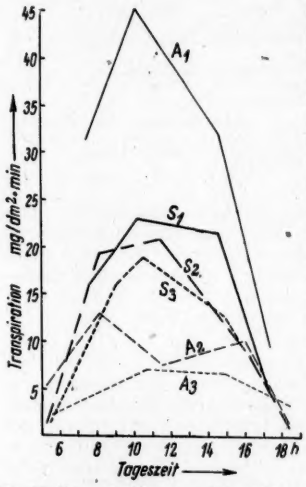

Fig. 13. Transpiration von Artemisia monogyna (A) und Statice Gmelini (S) bei gutem (1), mäßigem (2) und sehr schlechtem (3) Wasserzustand des Bodens. Ungarische Alkalisteppe. Nach Stocker 1933.

Die ziemlich weit fortgeschrittene Analyse des *Transpirations*verhaltens der Xerophyten hat gezeigt, daß der konstitutionellen Dürreresistenz nicht eine einzelne Konstitution oder, wie man auch sagen könnte, ein bestimmtes „Temperament" zugrunde liegt. Man kann unter den Gefäßpflanzen hinsichtlich der Intensität und des Rhythmus der Stoffwechselvorgänge *lebhaft-stabile*, *labile* und *träg-stabile Konstitutionstypen* unterscheiden (Stocker 1937). Die Fig. 13 stellt von ein und demselben Standort in der ungarischen Alkalisteppe eine Art des lebhaft-stabilen Types einer anderen des labilen gegenüber (Stocker 1933). Die erstere, Statice Gmelini, die allerdings auch Grundwasserpflanze und schwacher Sukkulent ist, ändert mit dem Wechsel der Bodenfeuchtigkeit von optimalen (S_1) zu ganz extremen (S_3) Feuchtigkeitsgraden ihre Transpiration kaum, während die letztere, Artemisia monogyna, ihren Transpirationsspiegel von weit über Statice bei optimalen (A_1) zu weit unter bei extremen (A_3) Bedingungen absinken läßt. Ihre Labilität zeigt sich auch im Tagesverlauf der Transpirationskurven, indem sie schon bei mäßiger Trockenheit (A_2) bereits im Laufe des Vormittags durch Spaltenschluß die Wasserabgabe einschränken muß, bei extremer (A_3) aber die Spalten überhaupt nicht mehr öffnen kann,

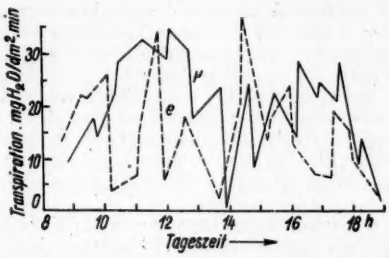

Fig. 14. Tagesgang der Transpiration einer dürreresistenten (r) und dürreempfindlichen (e) Zuckerrübensorte unter Dürrebedingungen. Nach Stocker, Rehm und Schmidt.

so daß die Transpirationskurve nur noch der kutikulären Transpiration entspricht.

Wo, wie in diesem Falle, Pflanzen von so verschiedener Gesamtkonstitution verglichen werden, besteht daher keine Aussicht, allgemeine Prinzipien der konstitutionellen Dürreresistenz zu finden. Wohl aber wird das möglich, wenn man Arten möglichst gleicher,

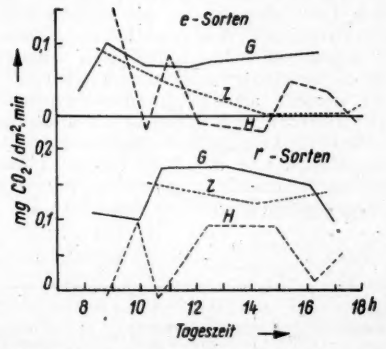

Fig. 15. Tagesgang der Assimilation dürreresistenter (r) und dürreempfindlicher (e) Sorten von Gerste (G), Hafer (H) und Zuckerrüben (Z) unter Dürrebedingungen. Nach Stocker, Rehm und Schmidt.

nur hinsichtlich des Grades der Dürreresistenz unterschiedener Konstitution einander gegenüberstellt, wie das B. Keller hinsichtlich anatomischer Merkmale getan hat. Für die physiologische Untersuchung sind wir in dieser Einengung noch weiter gegangen und haben mit *dürreempfindlichen* und *dürreresistenten Sorten* landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, die in reinen Linien zur Verfügung stehen, gearbeitet, unter Voranstellung der zentralen Probleme des Wasser- und des Assimilathaushaltes (Stocker, Rehm und Schmidt, Klein, Kraft, Eisele).

Hinsichtlich ihrer *artspezifischen Konstitution* unterscheiden sich innerhalb der untersuchten Kulturpflanzen die *Getreidearten* als *stabile* Typen von der

Zuckerrübe als einem sehr *labilen*. Man erkennt das schon aus dem gegensätzlichen Anblick, den an einem trockenwarmen Sommernachmittag die turgeszenten Blätter eines Getreidefeldes gegenüber den vollständig welk daliegenden eines Zuckerrübenfeldes darbieten, und aus der Schnelligkeit, mit der die welken Zuckerrübenblätter gegen Abend sich wieder erholen. Aus der Fig. 14 ersieht man, in wie wildem Auf und Ab die Transpiration der Zuckerrübe in solchen Tagen verläuft, weil es an einer schnellen und durchgreifenden Regulation durch Spaltöffnungsverengerung fehlt. Trotz der Labilität des Wasserhaushaltes erzielen aber die resistenten Zuckerrüben hohe Assimilationsgewinne (Fig. 15, Z), was auf eine hohe Latenzresistenz des Plasmas hinweist. Unter den drei untersuchten Getreidearten erweist sich die Gerste als die stabilste; selbst bei extremer Trockenheit verläuft die Tageskurve der Assimilation hoch und gleichmäßig (Fig. 15, G); diese hohe Dürreresistenz entspricht ihrem weit in das aride Gebiet vorgeschobenem Kulturareal. Der Hafer dagegen zeigt bei Dürre ein weniger stabiles und im Gesamtwert gedrückteres Verhalten (Fig. 15, H), entsprechend seinem mehr humiden Areal. Weizen steht zwischen Gerste und Hafer.

Eine der Grundlagen für die *artspezifische* Dürreresistenz der *Gerste* dürfte die artspezifisch hohe *Viskosität* ihres Plasmas sein. Sie wurde im Durchschnitt von 5 untersuchten Sorten beinahe doppelt so groß gefunden wie der Durchschnitt von 6 Hafersorten (Schmidt, Diwald und Stocker). Das deutet auf eine besonders dicht geknüpfte und stabile Struktur des plasmatischen Eiweißgerüstes hin, die als Widerstand gegen den primären Dürreangriff zu werten ist. Eine weitere Grundlage ist in einer großen Leistungsfähigkeit des Wurzelwerkes zu sehen, wodurch bei Dürre ein längeres Offenhalten der Spalten ohne Gefährdung der Wasserbilanz ermöglicht wird.

Wenden wir uns nun der *sortenspezifischen* konstitutionellen Dürreresistenz zu, so ergeben sich hier *allgemeine Prinzipien*. Was zunächst die *Struktur des Plasmas* angeht, so hat sich bei allen 4 genannten Arten für die resistenten Sorten eine höhere Plasmaviskosität ergeben als für die dürreempfindlichen (Schmid, Diwald und Stocker). Von physiologischen Funktionen vergleicht die Tabelle 4 den Ablauf der Transpiration und der Assimilation, indem die Tagesleistung der resistenten Sorte in Prozenten derjenigen der empfindlichen ausgedrückt wird.

Tab. 4. $\frac{\textit{Resistent}}{\textit{Empfindlich}} \cdot 100$ — *Tagesleistungen.*

Kulturbedingung	Transpiration			Assimilation		
	feucht	mäßig trocken	extrem trocken	feucht	mäßig trocken	extrem trocken
Gerste	75	64	—	85	103	189
Weizen	130	95	—	77	95	152
Hafer	114	117	104	—	128	264
Zuckerrüben	85	96	140	85	119	137

Da die Zahlen von den nicht ganz gleichen Kulturbedingungen und der willkürlichen Auswahl der Sorten abhängen, sind sie nur im großen und ganzen vergleichbar. Hierbei zeigen sie das folgende allgemeine Prinzip (Stocker, Rehm und Schmidt): „*Der physiologische Reaktionsmechanismus der Dürreresistenz ist darauf abgestimmt, unter relativer Einschränkung der Transpiration eine relative Steigerung des Assimilationsgewinnes zu erzielen.*“ Bei labilen Typen, wie der Zuckerrübe, ist hinzuzufügen: „und den leicht eintretenden Zusammenbruch des Wasserhaushaltes mit seinen einschneidenden Folgen für die Assimilation zu verhindern“. Dieser letzte Punkt drückt sich in der Tabelle in der starken Steigerung des relativen Transpirationswertes der resistenten Zuckerrübensorte unter extremen Dürrebedingungen aus, indem hier die empfindliche Sorte bereits zusammengebrochen und ihre Wasserabgabe auf ein Minimum abgesunken ist.

Das Mittel, das diesen Reaktionsmechanismus steuert, ist die *Spaltöffnungsbewegung*. Sie zeigt als allgemeines Prinzip bei den *dürreresistenten* Sorten eine *höhere Empfindlichkeit* und Reaktionsgeschwin-

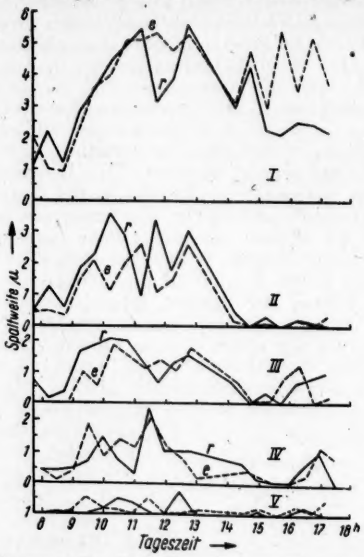

Fig. 16. Tagesgang der Spaltöffnungsbewegungen von dürreresistenten (*r*) und dürreempfindlichen (*e*) Hafersorten unter optimalen (I) und unter zunehmenden Dürrebedingungen (II—V). Nach Klein.

digkeit gegenüber dem Licht (photoaktive Öffnungsbewegung) und dem Wassermangel der Gewebe (hydroaktive Schließbewegung) (Klein). Die Fig. 16 stellt die Auswirkung dieser konstitutionellen Eigentümlichkeit in Tagesgängen der Spaltöffnungsbewegung von Hafersorten bei verschiedenen Graden der Dürre dar. Bei mäßiger Dürre (Fig. 16, II, III) bewirkt die größere photische Empfindlichkeit der resistenten Sorte ein früheres Öffnen der Spalten am Morgen, die größere hydroaktive Empfindlichkeit aber ein früheres und energischeres Verengen um die Mittagszeit. Dadurch kommt, in Verbindung mit einem leistungsfähigeren Wurzelwerk, bei den Resistenten eine bessere Stabilisierung des Wasserhaushaltes zustande, welche wiederum die Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der aufbauenden Stoffwechselphase ist. Diese wird außerdem nach den frühen Morgenstunden hin vorverschoben, in welchen bei noch höherer Feuchtigkeit und niedererer Temperatur der Atmosphäre eine weite Öffnung der Spalten ohne allzu große Transpirationsverluste möglich ist. Eine entsprechende Verschiebung des Rhythmus von aufbauender und abbauender Phase ist bei der resistenten Hafersorte auch hinsichtlich des Askorbinsäure-Redoxsystems gefunden worden (Eisele). Sie gliedert sich ein in die allgemeinen Vorstellungen über die Bedeutung des Tagesrhythmus (Bünning 1942). Bei den extremsten Dürrebedingungen (Fig. 16, IV, V), bei denen das Wasserdefizit der Gewebe während der Nacht nicht mehr ausgeglichen wird, wirkt sich die hohe hydroaktive Empfindlichkeit der Resistenten am Morgen als Verzögerung der Öffnungsbewegung aus; das ist ökologisch dahin zu

verstehen, daß es bei dieser Situation nicht mehr so sehr darauf ankommt, größere Assimilationsgewinne zu erzielen, als vielmehr nur noch, durch sorgsamste Stabilisierung des Wasserhaushaltes die irreversible Austrocknungsschädigung zu vermeiden.

Erweisen sich somit unter Dürrebedingungen die resistenten Sorten als den empfindlichen überlegen, so kehrt sich nach Tabelle 4 bei optimaler *Feuchtigkeit* das Verhältnis um, und das offenbar deshalb, weil nun die höhere Sensibilität der resistenten Sorten schon bei geringen Wasserdefiziten, die unter diesen Umständen keine Gefahr bedeuten, zu Schließbewegungen und damit Störungen der Assimilation führt (Fig. 16, I). Es kann das so weit gehen, daß gewisse hochresistente Zuckerrübensorten für den Anbau im humiden deutschen Klima nicht mehr geeignet sind. Hier taucht das Problem der *Feuchtigkeitsresistenz* auf, zu dem phänotypisch die Verweichlichungserscheinungen gehören. Es läßt sich ebenfalls von unseren plasmatischen Vorstellungen aus behandeln.

Literatur.

Biebl, R., Jahrb. wiss. Bot. **86**, 350 (1938). — Ber. D. Bot. Ges. **57**, 78 (1939). — Bünning, E., Die Physiologie des Wachstums und der Bewegungen, Berlin (1939). — Z. f. Bot. **37**, 433 (1942). — Eisele, C., Diss., Darmstadt (1944). — Freundlich, H., Protoplasma **2**, 278 (1927). — Frey-Wyssling, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate, Berlin (1938). — Härtel, O., Protoplasma **34**, 117 u. 489 (1940). — Heil, H., Beih. Bot. Ctrlbl. Abt. **40**, 41 (1924). — Hertel, W., Flora **133**, 143 (1939). — Höfler, K., Z. f. B. **23**, 570 (1930). — Ak. Wiss. Wien, Anz. **12**, 1 (1942). — Ber. D. Bot. Ges. **60**, 94 (1943). — Rundschr. D. Bot. Ges. Dez. 1944, S. 2 (1944). — Höfler, K., Migsch, H., und Rottenburg, W., Forschgdienst **12**, 50 (1941). — Huber, B., Xerophyten, Handw. d. Naturw. Bd. **10**, Jena (1935). — Iljin, W. S., Protoplasma **10**, 379 (1930). — Protoplasma **13**, 322 (1931). — Planta **24**, 742 (1935). — Kahl, H., Diss., Darmstadt (1944). — Keller, B., J. of Ecology **13**, 224 (1925). — Kraft, M., Diss., Darmstadt (1944). — Maximow, N. A., The plant in relation to water, London (1929). — Montfort, C., Ber. D. Bot. Ges. **55**, 85 (1937). — Mothes, K., Ber. D. Bot. Ges. **46**, 59 (1928). — Oppenheimer, H. R., Ber. D. Bot. Ges. **50a**, 185 (1932). — Péterfi, T., und Olivo, O., Arch. exp. Zellforschg. **4**, 149 (1927). — Pfeffer, W., Abh. math.-phys. Kl. Sächs. Akad. Wiss. **16**, 185 (1890). — Pisek, A., und Berger, E., Planta **28**, 124 (1938). — Renner, O., Planta **19**, 644 (1933). — Rouschal, E., Jahrb. wiss. Bot. **87**, 436 (1938). — Flora **132**, 305 (1938). — Schmidt, H., Protoplasma **33**, 25 (1939). — Schmidt, H., Diwald, K., und Stocker, O., Planta **31**, 559 (1940). — Shreve, F., The scient. Monthly **42**, 195 (1936). — Simonis, W., Planta **35**, 188 (1947). — Ståfelt, M. G., Planta **27**, 30 (1937). — Bot. Notiser (Lund) **1939**, 176 (1939). — Stern, K., Pflanzen-Thermodynamik, Berlin (1933). — Stocker, O., Flora **121**, 334 (1927). — Jahrb. w. Bot. **78**, 751 (1933). — Ber. D. Bot. Ges. **55**, 370 (1937). — Planta. Im Druck (1948). — Stocker, O., und Holdheide, W., Z. f. Bot. **32**, 1 (1937). — Stocker, O., Rehm, S., und Schmidt, H., Jahrb. wiss. Bot. **91**, 1 u. 278 (1943). — Syssakjan, N. M., The biochemical characters of drought-resistent plants, Moskau (1940?). — Tumanow, J. J., Planta **3**, 391 (1927). — Wiss. Arch. Landw. **3**, 389 (1930). — Vassiljev, J. M., Planta **14**, 225 (1931). — Walter, H., Jahrb. wiss. Bot. **62**, 145 (1923). — Zeitschr. f. Bot. **16**, 353 (1924). — Die Hydratur der Pflanze, Jena (1931). — Planta **19**, 636 u. 648 (1933). — Zeuch, L., Planta **22**, 614 (1934).

Kurze Originalmitteilungen.

Prälonisation in den Tagesschichten der Ionosphäre.

Nach der bisherigen Anschauung ist die Grenzfrequenz der Tagesschichten der Ionosphäre (*E*- und *F* 1-Schicht) proportional der vierten Wurzel aus dem cos *X*, wobei *X* die Zenitdistanz der Sonne ist. Dieses Gesetz ergibt sich aus der Theorie bei Annahme der Rekombination als rückbildendem Prozeß der Ionisierung; es wird recht gut erfüllt für die Stunden um Mittag, versagt dagegen vollständig zur Zeit des Sonnenauf- und Sonnenuntergangs.

Dieses Gesetz verlangt einen sehr steilen Anstieg der Grenzfrequenz bei Sonnenaufgang bzw. einen Abfall bei Sonnenuntergang. Der Sonnenaufgang in der Schicht ist für die „aktive" (UV-)Strahlung der Sonne wegen der Absorption zur gleichen Zeit wie am darunterliegenden Beobachtungsort (für sichtbares Licht dagegen liegt der Sonnenaufgang in der *E*-Schicht im Sommer in unseren Breiten etwa 1 ½ Stunden früher).

Beobachtungen auf Festwelle $\lambda = 180$ m ($f = 1{,}67$ Mc) in den Morgenstunden des Frühjahres und Spätsommers 1947 haben aber gezeigt, daß meist schon einige Minuten vor Sonnenaufgang am Boden diese Versuchsfrequenz zur Grenzfrequenz der normalen *E*-Schicht wird. Das entspricht einer Ionisation von $N = 3{,}5 \cdot 10^4/\text{cm}^3$.

Um weiteren Aufschluß über die Ionisierung der *E*- und *F* 1-Schicht vor Sonnenaufgang zu erhalten, wurden im Hochsommer (Mai—Anfang Juli) Dauerbeobachtungen mit kontinuierlich veränderlicher Frequenz („Durchläufe", Fig. 1) durchgeführt. Durch Erschließung der Grenzfrequenz *fE* aus der der außerordentlichen Komponente f^xE war es hierbei möglich, noch Aussagen über die Ionisation der *E*-Schicht bis herunter auf etwa $N = 1{,}2 \cdot 10^4/\text{cm}^3$ zu machen, während für *fE* die untere Grenze etwa beim doppelten Wert läge.

Die durch die einzelnen Meßpunkte gelegte *mittlere Kurve* („50%-Kurve") ergab folgendes Bild für die Vor-Ionisation der *E*-Schicht vor Sonnenaufgang:

Etwa 80 Minuten vor Sonnenaufgang am Boden ist bereits eine Ionisation vorhanden, die einer Grenzfrequenz von 1,0 Mc entspricht; diese wächst dann fast linear um 0,6 Mc/h und erreicht bei Sonnenaufgang

Fig. 1. Sonnenaufgang am 1. Juli 1947. Scheinbare Höhe in Abhängigkeit von der Frequenz; letztere läuft jeweils von 1,45 bis 7,3 Mc von rechts nach links.

(kurz nach 04 h MOZ) einen Wert von 1,8 ± 0,1 Mc.

Der weitere — ebenfalls nahezu lineare — Frequenzanstieg (bis etwa 06 h) ist geringer, als es dem $\cos^{1/4} X$-Gesetz entspricht.

In der ganzen Zeit dieser Sonderbeobachtungen wurde dagegen *keine einzige* Registrierung festgestellt, die auf eine Ionisierung der normalen *E*-Schicht vor dem Sonnenaufgang für sichtbares Licht in der *E*-Schicht (etwa 02 30 h MOZ) schließen ließ.

Einige Durchläufe weisen auf das Vorhandensein auch der *F* 1-Schicht etwa 20—35 Minuten vor Sonnenaufgang am Boden. Als Kriterium für das Vorhandensein der *F* 1-Schicht wurde dabei das eindeutige Absetzen im Verlauf der scheinbaren Reflexionshöhe angesehen (Fig. 1).

Die oben besprochene Ionisierung der *E*-Schicht vor Sonnenaufgang ist nicht zu verwechseln mit einer

während der Nacht auftretenden verzögernden E-Schicht („Nacht-E"), die im letzten Jahr mindestens 15mal beobachtet wurde. Diese Schicht ist stets von starken magnetischen und mittel- bis sehr starken Störungen der F 2-Schicht begleitet und wohl mit der unter der Bezeichnung „Nordlicht-E" bekannten Schicht identisch (Fig. 2).

Fig. 2. Durchlauf mit „Nacht-E".

Eine ausführliche Darstellung dieser Beobachtungen und der Ergebnisse erscheint in der Reihe der wissenschaftlichen Berichte des SPIM.

Freiburg, Ionosphärenstation Neuershausen.

E. Theissen.

Eingegangen am 12. Dezember 1947.

Über farbloses kubisches Siliciumcarbid.

Im Hinblick auf den großen Einfluß von Verunreinigungen auf die Eigenschaften von Halbleitern ist die Gewinnung möglichst reiner Substanzen von großer Bedeutung. Beim Siliciumcarbid gelangt man, obwohl reines SiC farblos ist, praktisch stets nur zu mehr oder weniger stark gefärbten Produkten, die also immer noch gewisse Verunreinigungen, in erster Linie wohl Eisen, enthalten.

Iley und Riley berichteten nun kürzlich[1]), daß es ihnen durch Zersetzung von wasserdampfgesättigtem Äthylen in Vitreosilrohren bei 1200 bis 1300° gelungen ist, farbloses, d. h. offenbar sehr reines SiC zu gewinnen. Die röntgenographische Untersuchung zeigte, daß die weiße, flockige, schimmelartig aussehende Masse kubisches SiC war. Leider handelte es sich dabei um ein offenbar sehr feinkristallines Produkt, das sich für eine Untersuchung der elektrischen Eigenschaften daher schlecht eignete.

Im folgenden soll nun über ein anderes Verfahren berichtet werden, mit dessen Hilfe es uns gelungen ist, kubisches SiC in bis zu 75 μ großen, vielfach vollkommen farblosen Kristallen zu erhalten:

Beim Erhitzen von Siliciumpulver im Hochvakuum in Kohleschiffchen beobachteten wir, daß das Silicium beim Schmelzen an den Wandungen des Kohleschiffchens in die Höhe kroch und dann innerhalb von 1 bis 2 Minuten bei Temperaturen zwischen 1600 und 2000° verdampfte. Dabei hinterblieb ein fester, grau aussehender, offenbar kristalliner Rückstand, der erst bei längerem Erhitzen verschwand. Da sich dieser graue Belag auf den Wandungen des Kohleschiffchens schlecht untersuchen ließ, schichteten wir in das Schiffchen, auf dessen Boden sich das Siliciumpulver befand, senkrecht Kohlestäbchen ein, auf deren unteren Stirnseiten beim Erhitzen nun ebenfalls dieser graue kristalline, fest an der Kohle haftende Belag entstand, dessen röntgenographische Untersuchung ergab, daß er aus kubischem SiC bestand. Eine Präzisionsbestimmung mit NaCl als Eichsubstanz ergab eine Gitterkonstante von $a = 4{,}352 \pm 0{,}003$ Å in guter Übereinstimmung mit dem von Braekken[2]) zu $4{,}348 \pm 0{,}005$ Å ermittelten Wert. Unter dem Mikroskop zeigte sich, daß diese SiC-Schichten noch sehr feinkristallin waren. Durch Tempern bei 1500—1600° während einiger Minuten gelang es jedoch, bis zu 30 μ große Kristalle zu züchten. Eine längere Temperung war nicht möglich, da das SiC bei diesen Temperaturen im Hochvakuum bereits mit merklicher Geschwindigkeit in seine Komponenten zerfällt, was bei normalem Druck erst oberhalb 2100° eintritt. Dadurch, daß wir das Silicium statt in einem offenen Kohleschiffchen in einem geschlossenen Kohlerohr erhitzten, konnte die Verdampfung stark gehemmt werden, was eine wesentlich intensivere Reaktion zwischen Silicium und Kohle und die Bildung von bis zu 75 μ großen SiC-Kristallen zur Folge hatte. Auch sie gehörten stets der kubischen und niemals einer der drei hexagonalen Modifikationen an. Unter dem Mikroskop konnte man stark lichtbrechende Oktaeder und Würfel erkennen. Die meisten Schichten sahen in der Aufsicht infolge der Kohleunterlage grau, in der Durchsicht nach Ablösen von der Kohle farblos aus, manche waren dagegen zitronengelb gefärbt oder zeigten einzelne gelbe Flecken, schließlich traten gelegentlich auch flaschengrüne Kristalle auf. Es war uns bisher nicht möglich, einen deutlichen Zusammenhang zwischen Reinheit und Herkunft des verwendeten Siliciums oder den Versuchsbedingungen einerseits und der Färbung der Kristalle andererseits festzustellen. Die Herstellungstemperatur beeinflußte offenbar lediglich die Reaktionsgeschwindigeit.

Hinsichtlich ihrer elektrischen Eigenschaften unterschieden sich die farblosen SiC-Schichten erheblich von den gelben: die Leitfähigkeit der farblosen Schichten war wesentlich höher als die der gelben, was auch schon früher beobachtet worden war. Über die Ursache der hohen Leitfähigkeit des farblosen SiC besteht jedoch bisher noch keine Klarheit. Es könnte sich dabei um eine stöchiometrische Unschärfe des SiC handeln. Auch wäre denkbar, daß selbst das farblose SiC noch Fremdatome enthielte. Leider waren uns aus äußeren Gründen genaue analytische Untersuchungen, die hier sicher weitergeführt hätten, nicht mehr möglich. Ein wesentlicher Grund für die an sich recht hohe Leitfähigkeit der Schichten scheint uns zu sein, daß das SiC aus der Kohleunterlage, die bei der Untersuchung als die eine Elektrode fungierte, herausgewachsen war und daher dieser gegenüber vermutlich keinen merklichen Übergangswiderstand zeigte. Als Gegenelektrode diente eine Wolframnadel. Diese Versuchsanordnung gestattete es, zugleich die Detektorwirkung der Schichten zu messen, die bei den gelben Schichten bedeutend größer als bei den farblosen war und mit steigender Kristallgröße zunahm, wobei der Elektronenstrom in der Flußrichtung vom Kristall zur Nadel floß. Danach hatte es den Anschein, als wäre die Anwesenheit gewisser Verunreinigungen für die Detektorwirkung des SiC nützlich, wenn nicht erforderlich. Leider fehlen in den zahlreichen früheren Arbeiten über die Detektorwirkung des SiC Angaben darüber, mit welcher Modifikation gearbeitet wurde, doch glauben wir, daß dabei wohl ganz überwiegend eine der hexagonalen Modifikationen verwendet wurde.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Jahre 1944 im Anorganisch-chemischen Institut der Technischen Hochschule Berlin ausgeführt. Herrn Prof. Dr. A. Schleede sind wir für seine großzügige Unterstützung und viele wertvolle Ratschläge zu großem Dank verpflichtet.

Berlin-Zehlendorf.

Bertold Reuter, Heinz Knoll.

Eingegangen am 24. Februar 1948.

[1]) Iley, R., und Riley, H. L., Nature (London) **160**, 468 (1947).
[2]) Braekken, H., Z. Kristallogr. **75**, 572 (1930).

Ein einfaches Verfahren zur Herstellung strukturloser Trägerschichten aus Aluminiumoxyd.

Bei der Durchführung physikalischer Untersuchungen benötigt man gelegentlich Folien geringer, aber gleichmäßiger Schichtdicke als Unterlagen für Substanzen, die man in dünner Schicht zu untersuchen wünscht. Die insbesondere seit der Entwicklung der Übermikroskopie an solche Folien zu stellenden Ansprüche werden von Kollodiumhäutchen, die anfänglich fast ausschließlich benutzt wurden, nur zum Teil erfüllt. Sie lassen sich zwar nach einfachen Rezepten herstellen, sind mechanisch und optisch durchaus befriedigend, leider aber nur bis zu Temperaturen von etwa 150° C verwendbar. Bei der Suche nach anderen geeigneten Substanzen fanden sich verschiedene Möglichkeiten. Möllenstedt[1]) und Ackermann[2]) geben eine Methode zur Herstellung dünner Silikatglashäutchen an, König[3]) verdampft Siliziummonoxyd, das nach geeignetem Verfahren in Kieselglas umgewandelt wird. Erstmalig wird von Hass und Kehler[4]) Aluminiumoxyd benutzt, das sie durch Aufdampfen einer Aluminiumschicht geeigneter Dicke und anschließender elektrolytischer Oxydation erhalten. M. v. Ardenne und Friedrich-Freksa[5]) gehen statt von der Aufdampfschicht von einer Aluminiumfolie aus, vereinfachen das Verfahren daher weitgehend und umgehen vor allem die zeitraubende sowie einen erheblichen experimentellen Aufwand erfordernde Verdampfung. Wegen dieser Vorzüge wurde es hier als Ausgangspunkt benutzt und soweit entwickelt, daß es möglich ist, strukturlose Häutchen bestimmter vorgegebener Dicke sowie geometrischer Form zu erhalten, wie sie außer in der Übermikroskopie noch bei vielen anderen Gelegenheiten Verwendung finden.

Die benutzte Reinstaluminiumfolie von etwa 10 μ Stärke wird zunächst in etwa 80° C warmer verdünnter Salpetersäure gründlich gesäubert, mit destilliertem Wasser abgespült und als Anode in 3%iger Ammoniumzitratlösung oxydiert. Als Kathode läßt sich eine

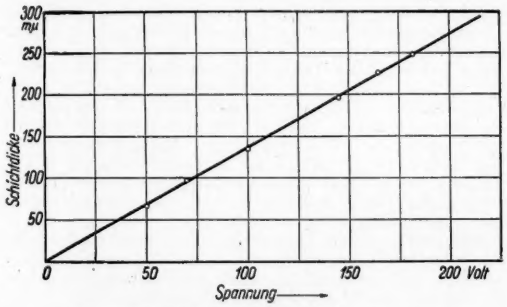

Fig. 1. Schichtdicke als Funktion der Spannung. Elektrolyt: Ammoniumzitrat 3%.

Kohleelektrode verwenden. Die während der Elektrolyse auf dem Aluminium entstehende Oxydhaut sperrt nach Erreichen einer bestimmten Dicke den Stromdurchgang; ihr Wachstum ist damit beendet. Die so präparierte Folie wird zunächst in destilliertem Wasser gesäubert. Zur Ablösung der Oxydhaut von der metallischen Unterlage benutzen wir stark verdünnte, etwa 0,25%ige Sublimatlösung, die, wie bekannt, Aluminium angreift, das Oxyd jedoch unverändert läßt. Man zerschneidet die Folie in Stücke der gewünschten Form und Größe und schafft damit gleichzeitig an der Schnittkante eine Angriffsfläche für das Sublimat. Läßt man diese Stücke auf der Lösung schwimmen, so setzt von den Rändern her ein gleichmäßiger Angriff ein, der sich langsam nach der Mitte zu fortsetzt, bis die Oxydhaut völlig abgelöst ist und frei schwimmt. Der Angriff der Sublimatlösung geht überwiegend an der Grenzfläche Aluminiumoxyd-Aluminium vor sich, in dieser ist die Reaktionsgeschwindigkeit offenbar weitaus größer als senkrecht dazu. Die abgelösten Aluminiumoxydhäutchen sind nach Säuberung in destilliertem Wasser gebrauchsfertig.

Für manche Zwecke ist die Kenntnis der Dicke der benutzten Häutchen von Bedeutung. In unserem Falle läßt sie sich meßbar variieren durch Änderung der Spannung. Ist dieser Zusammenhang etwa in Form einer Kurve bekannt, so lassen sich Folien bestimmter

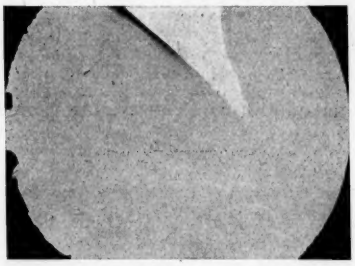

Fig. 2. Aluminiumoxydhäutchen, 85 Å dick.

vorgegebener Dicke leicht durch passende Wahl der Spannung herstellen. Zur Gewinnung der Eichkurve werden nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellte Häutchen der Größe 2 × 3 cm² auf einer Quarzplatte aufgefangen, bei 350° C im Ofen getrocknet und ihre Masse mit einer Mikrowaage der Empfindlichkeit 10^{-6} g/skt bestimmt. Ihre Dicke läßt sich angeben, wenn für die Dichte des Aluminiumoxyds der von Biltz und Mitarbeitern[6]) gefundene Wert 3,42 g/cm³ eingesetzt wird. Man erhält so die in Fig. 1 angegebene Abhängigkeit der Schichtdicke von der angelegten Spannung. Es zeigt sich, daß die Dicke linear mit steigender Spannung wächst, eine Tatsache, die von Herrmann[7]) mit einer völlig anderen Meßmethode bestätigt wird.

Der ermittelte Zusammenhang besteht natürlich nur bei den hier angewandten Herstellungsbedingungen, gilt also insbesondere nur für Ammoniumzitrat als Elektrolytflüssigkeit. Schwefelsäure oder Oxalsäure, die bei dem „Eloxalverfahren" der Technik durchweg benutzt werden, greifen die gebildete Oxydschicht an. Dadurch komplizieren sich die Verhältnisse erheblich, doch sei an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen.

Um die Folien als Unterlagen für Übermikroskopie und Elektronenbeugung benutzen zu können, dürfen sie auch bei stärkster Vergrößerung keinerlei Struktur zeigen und die Beugungsaufnahme muß verwaschene breite Ringe ergeben. Daß das bei den nach unserem Verfahren hergestellten Folien der Fall ist, zeigt Fig. 2 im Übermikroskopbild einer Folie bei 39 000facher Vergrößerung. Absichtlich wurde nach einer Stelle mit einem Riß gesucht, um einerseits die Scharfeinstellung kontrollieren zu können und andererseits die geringe Absorption der etwa 85 Å dicken Folie zu zeigen. Das Bild läßt keinerlei Struktur erkennen. Man kann dagegen durch starke Überbeanspruchung der Folie während der Bestrahlung ein Auskristallisieren erzwingen. Dies führt zu Bildern, wie sie auch Hass und Kehler[8]) erhalten. Temperungsversuche im Vakuumofen ergaben, daß die Häutchen bis zu Temperaturen von etwa 600° C strukturlos bleiben.

Holterdorf (Melle).

W. Walkenhorst.

Eingegangen am 4. März 1948.

[1]) Möllenstedt, G., Reichsber. f. Phys. **1**, 10 (1944); Optik **2**, 276 (1947).
[2]) Ackermann, I., Optik **2**, 280 (1947).
[3]) König, H., erscheint demnächst in der Optik.
[4]) Hass, G., und Kehler, H., Kolloid-Ztschr. **95**, 26 (1941), **97**, 27 (1941).
[5]) Ardenne, M. v., und Friedrich-Freksa, H., Naturwiss. **29**, 523 (1941).
[6]) Biltz, W., Lemke, A., Meisel, K., Zs. anorg. allgem. Chem. **186**, 373 (1930).
[7]) Herrmann, W., Wiss. Veröff. Siem. **19**, 188 (1940).
[8]) Hass, G., und Kehler, H., a. a. O.

Ein Modell für die gehemmte chemische Adsorption hydroxylhaltiger Stoffe an γ-Al_2O_3.

Aus einer Reihe von früheren Arbeiten (Mark, Dohse, Kälbererु.a.) ergibt sich unmittelbar, daß die erste Stufe bei der kontakt-katalytischen Dehydratation der Alkohole an γ-Al_2O_3 und verwandten Stoffen (Bauxit u.dgl.) in einer Adsorption des Alkohols an der Kontaktoberfläche besteht. Wenn auch bei großer Belegungsdichte ein erheblicher Teil des Alkohols ohne Hemmung adsorbiert zu werden pflegt, so konnte doch von E. Wicke[1]) gezeigt werden, daß bei geringer Belegungsdichte eine gehemmte Adsorption (mit einer Aktivierungsschwelle von 8 bis 10 kcal) überwiegt; bei hinreichend hoher Temperatur zerfällt dann die Mehrzahl der auf diese Weise an den Kontakt gebundenen Alkoholmolekeln nach einer kürzeren oder längeren Verweilzeit im Sinne einer Dehydratisierung. Über den für diesen Vorgang anzunehmenden Reaktionsmechanismus wurde bereits berichtet[2]) — es handelt sich um eine sog. *Austauschkatalyse*; eine Reihe inzwischen gewonnener, experimenteller Ergebnisse hat diese Auffassung in vollem Umfange bestätigt; vor allem darf die Tatsache als gesichert gelten, daß die Wirksamkeit des γ-Al_2O_3, wie auch sonstiger oxydischer Kontakte unbedingt das Vorhandensein chemisch adsorbierter H-Atome an der Oberfläche erfordert.

Fig. 1. Fig. 2.

Indessen blieb noch ungeklärt, wie man sich mehr ins einzelne gehend die gesamte Adsorption des Alkohols an γ-Al_2O_3 vorzustellen hat. Es wurde zunächst vermutet, daß es sich um eine gewöhnliche Wasserstoff-Brückenbindung handele; doch pflegt einer solchen keine Aktivierungsschwelle vorgelagert zu sein; auch ist deren Bindungsenergie erheblich geringer als die nach E. Wicke bis zu 30 kcal/mol ansteigende Adsorptionswärme.

Für die Deutung des Verhaltens gerade des γ-Al_2O_3 als Adsorbens sowie als Kontakt gegenüber OH-haltigen Stoffen dürfte der Umstand von ausschlaggebender Bedeutung sein, daß in seinem Kristallgitter (im Gegensatz zu dem adsorptiv wie katalytisch vollkommen unwirksamen α-Al_2O_3) 1/9 der an sich für die Metallionen in Frage kommenden Gitterplätze unbesetzt sind[3]). In der unmittelbaren Umgebung dieser natürlichen „Fehlstellen" ist daher das von den O-Ionen herrührende negative elektrostatische Feld abnorm groß. Infolgedessen werden die sich hier anlagernden H-Atome wesentlich stärker polarisiert als durch die O-Atome einer gewöhnlichen OH-Gruppe. Hieraus folgt dann unmittelbar eine erhebliche Verstärkung der Wasserstoff-Brückenbindung[4]).

Das Auftreten einer Aktivierungsschwelle wird an Hand des durch die Fig. 1 und 2 schematisch (flächenhaft wiedergegebenen Modelles) verständlich. Bei der teilweisen Hydrierung der Kontaktoberfläche, die, wie erwähnt, für die katalytische Wirkung unentbehrlich ist, werden sich die H-Atome vorzugsweise an Stellen anlagern, unter denen sich eine Al-Lücke befindet. In diesem Zustande ist zwar eine Adsorption von OH-Gruppen möglich; doch kann das dem adsorbierten OH-angehörige H-Atom wegen der Abstoßung durch das am Kontakt befindliche (stark polarisierte) H-Atom nicht mehr nahe genug an die O-Atome herangebracht werden, um mit einem von diesen in eine unmittelbare Wechselwirkung treten zu können. Dies ist erst dann möglich, wenn das in der Mulde (bei 1) befindliche H-Atom zunächst entgegen der elektrostatischen Anziehung, also durch Zufuhr einer Aktivierungsenergie auf die Stelle 2 gehoben wird, wodurch man für den adsorbierten Zustand, zu dem auf Fig. 2 wiedergegebenen Bild gelangt. Eine derartige Art der Lagerung muß beim Wasser zur Erklärung einiger von H. J. Leugering mit H_2O bzw. D_2O ausgeführter Messungen unbedingt angenommen werden; es ist aber aus hier nicht eingehender zu erörternden Gründen sehr wahrscheinlich, daß die katalytisch wirksame Adsorption der OH-Gruppen der Alkohole prinzipiell in gleicher Weise erfolgt.

Die bisherige Modellvorstellung über den weiteren Verlauf der kontakt-katalytischen Alkohol-Dehydrierung (Elektronenumgruppierung, Austausch zweier H-Atome) bedarf keiner Änderung.

Göttingen, Institut für physikalische Chemie der Universität A. Eucken.

Eingegangen am 5. März 1948.

[1]) Wicke, E. Die bereits 1944 fertiggestellte Arbeit erscheint demnächst in der Ztschr. f. Elektroch.

[2]) Eucken, A. u. Wicke, E., Naturwissenschaften **32**, 161 (1944); Z. f. Naturforschung **2a**, 163 (1947).

[3]) In dem mit γ-Al_2O_3 isomorphen Mg-Spinell $MgAl_2O_4$ sind diese Gitterplätze sämtlich besetzt; vgl. Hägg, G. u. Söderholm, G., Z. Phys. Chem. **29**, 88 (1935).

[4]) Bekanntlich stellt sich bei der elektrostatischen Berechnung der Bindungsenergie einer gewöhnlichen Wasserstoff-Brückenbindung heraus (vgl. beispielsweise Harms, H., Z. f. phys. Chem. **43**, 257 (1939), daß diese nur eine kleine Differenz einer Anzahl sehr beträchtlicher positiver und negativer elektrostatischer Einzelanteile bildet. Eine prozentual bescheidene Änderung der letzteren wird daher im allgemeinen sehr viel größere Änderungen der Energie der H-Brückenbindung zur Folge haben. Eine quantitative Berechnung der an einer γ-Al_2O_3-Oberfläche in der Nähe von natürlichen Al-Fehlstellen sich herstellenden Wasserstoff-Brückenbindung wird freilich erst möglich sein, sobald die Elektronenverteilung in γ-Al_2O_3 durch eine exakte röntgenographische Ermittlung des Atomfaktors hinreichend genau festgelegt ist.

Krystallisation des Gynotermons von Chlamydomonas.

Die geschlechtsbestimmende Wirkung, die Kulturfiltrate von weiblichen Chlamydomonas-Zellen auf Zwitterzellen ausüben, läßt sich auch durch Isorhamnetin (Quercetin-3′-methyläther) hervorbringen. Wir hatten diesen Flavonol-Farbstoff einerseits durch Hydrolyse eines im Crocus-pollen vorkommenden Glykosids, andererseits synthetisch erhalten[1]). Es ist jetzt gelungen, Isorhamnetin aus weiblichen Gameten von Chlamydomonas in krystallisierter Form zu gewinnen und so die chemische Natur des von den Geschlechtszellen sezernierten Termons sicherzustellen.

Aus 5,0 g bei 50° getrockneten *irha*+-♀-*py*+-Zellen haben wir 80 mg Isorhamnetin in zitronengelben Nädelchen erhalten. Die Gynotermon-wirkung stimmte mit derjenigen des synthetischen Farbstoffs überein. Die Tetra-acetylverbindung (Schmp. 205 bis 207°, farblose Nädelchen) ergab mit synthetischem Tetraacetyl-quercetin-3′-methyläther (Schmp. 205 bis 207°) keine Depression.

Aus 7,0 g getrockneten *pae*+-♂-*py*+-Zellen, die genau gleichartig gezüchtet waren und aufgearbeitet wurden, konnte kein Isorhamnetin erhalten werden. Nachdem die *irha*+-♀-*py*+- und *pae*+-♂-*py*+-Zellen genetisch mit Ausnahme des Geschlechts übereinstimmen, ergibt sich, daß Isorhamnetin ein spezifischer Stoff der weiblichen Geschlechtszellen ist.

Die männlichen Geschlechtszellen (*pae*+-♂-*py*+) enthalten in bedeutender Menge ein Anthocyan[2]), das in den weiblichen völlig fehlt. Hat man Chlorophyll u. a. mit Benzol und mit Äther vorextrahiert, so erscheint der Methanol-auszug der ♀-Gameten hell-gelb, derjenige der ♂-Gameten dunkel-rot (Anthocyan). Dieser chemische Unterschied zwischen isogamen (morphologisch nicht differenzierbaren) Geschlechtszellen ist sehr eindrucksvoll.

Heidelberg, Kaiser-Wilhelm-Institut für medizinische Forschung, Institut für Chemie.

Richard Kuhn, Irmentraut Löw.

Eingegangen am 23. März 1948.

[1]) Kuhn, R., Löw, I., Moewus, F., Naturw. **30**, 373, 407 (1942). — Kuhn, R., Moewus, F., und Löw, I., Ber. chem. Ges. **77**, 219 (1944). — Kuhn, R., Löw, I., Ber. chem. Ges. **77**, 196 (1944). Die Synthese des Isorhamnetins haben bereits T. Heap und R. Robinson, Journ. Chem. Soc. London **1926**, 2336, durchgeführt.

[2]) Nach F. Moewus und H. J. Bielig gibt es Mutanten von Chlamydomonas, denen die Fähigkeit zur Spaltung von Picrocrocin durch Päonidin-diglucosid-(3.5) verliehen werden kann. Bielig, H. J., Ber. chem. Ges. **77**, im Druck (1944); Fiat review Biochemistry Bd. I, 97 (1948).

Berichte.

Die Gitterkonstante kleiner Kristalle.

Im NaCl-Gitter beträgt der Abstand vom Natrium- zum Chlorion 2,814 Å, wohingegen Elektronenbeugungsversuche an NaCl-Dampf[1]) im Molekül einen Abstand von 2,47 Å liefern. Diese Gegenüberstellung legt den Schluß nahe, daß infolge der einseitig wirkenden Kräfte der Abstand zwischen der obersten und der nächst tieferen Netzebene einer Steinsalzspaltfläche ebenfalls kleiner ist als der Netzebenenabstand im Inneren des Kristalls. Madelung[2]) hat diese Verzerrung bei Beschränkung auf die elektrostatischen und Bornschen Abstoßungskräfte theoretisch untersucht, konnte sie aber experimentell nicht nachweisen. Fast ein Jahrzehnt später berechnet Braunbek[3]) für eine NaCl-Oberfläche eine Kontraktion von nur 3‰, während Lennard-Jones und Dent[4]) unter Berücksichtigung der Ionendeformation für die oberste Netzebene des Steinsalzes einen um etwa 5% kleineren, für homöopolare Kristalle einen größeren Wert als im Innern erhalten. Auch Stranski[5]) hält damals*) eine Kontraktion des Abstandes zwischen erster und zweiter Netzebene bei Ionenkristallen für wahrscheinlich und macht seine Überlegungen an einem anschaulichen Schema vom Aufbau der obersten Netzebenen eines Steinsalzkristalles plausibel.

Experimentell versuchte man bisher meist dadurch eine Entscheidung zu treffen, daß man sehr kleine Kriställchen (Oberfläche groß gegen das Volumen), wie sie etwa in Aufdampfschichten vorliegen, mit Elektronen durchstrahlte und aus dem Beugungsbild auf eine Änderung der Gitterkonstante, infolge des hohen Oberflächenanteils, schloß. Man muß sich allerdings von vornherein darüber im klaren sein, daß auch an der Beugung mit Elektronen, trotz ihres hohen Streuvermögens, so viele Netzebenen des Kristalls beteiligt sind, daß es schwierig sein dürfte, die Änderung des Abstandes zwischen den äußersten Netzebenen auf diesem Wege wahrzunehmen. Die bisher vorliegenden Untersuchungen dieser Art scheinen aber meßbare Unterschiede der mit Röntgenlicht an großen und mit Elektronen an kleinen Kristallen ermittelten Gitterkonstanten nachzuweisen; ja sie scheinen zum Teil im Widerspruch mit den Forderungen der Theorie zu stehen: Statt einer Kontraktion finden Finch und Fordham[6]) an Alkalihalogenidaufdampfschichten mit Elektronenbeugung eine um etwa 0,5% *größere* Gitterkonstante als mit Röntgenlicht. Riedmiller[7]) stellt dagegen an Aufdampfschichten von Nickel, Silber und Gold um 1,2%, 1% und 0,8% zu große Gitterkonstanten fest. Auch Cosslett[8]) erhält an Indiumaufdampfschichten aus dem Elektronenbeugungsbild einen um 0,6% erhöhten Wert, während Boochs[9]) an Alkalihalogenidaufdampf- und Goldschichten den normalen Wert, an Nickel mit abnehmender Teilchengröße allerdings eine Zunahme der Netzebenenabstände mißt. Diese Zunahme dürfte auf den Einfluß**) des bei diesen feinteiligen Schichten unvermeidbaren Oxyds zurückzuführen sein, dafür sprechen auch die normalen Gitterparameter, die Boochs an Goldschichten ähnlicher Teilchengröße erhält. Abweichungen in älteren Arbeiten[10]) beruhen auf Oxydation der Schichten, ähnlich wie sich die Gitteraufweitung an Polierschichten[11]) auf die Wirkung des Sauerstoffs zurückführen ließ[12]). Eine Zunahme der Gitterkonstante des γ-Fe_2O_3 mit sinkender Teilchengröße, wie sie Schoon und Haul[13]) gefunden haben, läßt wegen der geringen Meßgenauigkeit keine Aussagen über die Gültigkeit der Lennard-Jonesschen Theorie zu. Neuerdings von G. Möllenstedt[14]) beobachtete Unterschiede der mit Elektronen und mit Röntgenlicht gemessenen Gitterkonstanten von Aluminiumaufdampfschichten ließen sich als eine Gitterkontraktion, hervorgerufen durch Einbau von Wolfram ins Aluminiumgitter, aufklären[15]). Im Gegensatz zu den bisher beschriebenen Experimenten haben Thiessen und Schoon[16]) die Oberfläche von KCL-Spaltflächen unmittelbar in Elektronenreflexion untersucht. Es zeigte sich, daß die Interferenzen verschiedener Ordnung verschieden stark gebrochen werden. Aus dem Gang der Brechzahl mit der Interferenzordnung kann auf eine Kontraktion in den obersten Netzebenen geschlossen werden. Da der Gang des Brechungsvermögens jedoch auch anders erklärbar ist, kann dieser Befund nicht als eindeutiger Beweis einer Kontraktion im Sinne von Lennard-Jones angesehen werden.

Die Unstimmigkeiten zwischen der Theorie von Lennard-Jones und den Untersuchungen von Finch und Fordham veranlaßten kürzlich Stranski und Molière[17]) zur Ausarbeitung einer neuen Theorie: Die Ionendeformation soll zwangsläufig zu einer molekülartigen Gruppierung der Ionen innerhalb der oberen Netzebene führen. Als direkte Folge dieser Molekülgitterstruktur der Oberflächennetzebene ergibt sich, daß der Abstand der obersten von der nächst tieferen Netzebene eventuell auch größer ausfallen kann als im Kristallinneren. Diese Überlegungen würden den experimentellen Befund von Finch und Fordham wenigstens qualitativ erklären.

Da es uns gewagt erscheint, auf Grund weniger voneinander stark abweichender experimenteller Befunde schon jetzt Schlüsse auf den Abstand der äußersten Netzebene eines Kristalls zu ziehen, soll im folgenden die Gitterkonstante kleiner Kriställchen in Aufdampfschichten einer eingehenden Untersuchung unterworfen und versucht werden, die bisher vorliegenden Resultate miteinander in Einklang zu bringen. Besonders geeignet für einen Gitterkonstantenvergleich ist die Doppelblendenmethode von Riedmiller[7]) in ihrer für das Siemenssche Elektronenmikroskop beschriebenen[18]) Abwandlung. Diese Apparatur ermöglicht durch *eine* Aufnahme ohne Spannungsmessung den Vergleich der Gitterkonstanten eines

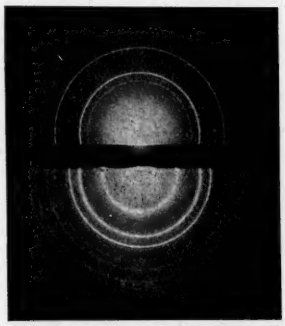

Fig. 1. Gitterkonstantenvergleich zwischen LiF (oben) und Germanium (unten).

unbekannten Stoffes mit einem Eichpräparat. Da die Theorie von Lennard-Jones für heteropolare Kristalle eine Gitteraufweitung, für homöopolare eine Gitterschrumpfung an der Oberfläche fordert, müßte man eine besonders große Abweichung beim Vergleich von Kristallen dieser beiden Bindungsarten erwarten. Es wurden daher zunächst Aufdampfschichten von Ionenkristallen mit aufgedampften Metallschichten verglichen. Wählt man als Eichfolie eine auf Kollodium aufgedampfte Steinsalzschicht (NaCl pro Analyse), so erhält man bei Zugrundelegung einer Gitterkonstante von 5,628 Å an Aufdampfschichten von

*) Vgl. [17])

**) Ähnlich wie der Durchmesser des (200)-Rings im reinen Nickeldiagramm bereits bei großen Kriställchen durch die Intensität des (111)-Ringes beeinflußt wird, werden die intensivsten Interferenzen des NiO die Durchmesser der Nickelringe „verkleinern" und dadurch eine Netzebenenabstandsvergrößerung der Nickelkriställchen vortäuschen.

Kupfer, Silber, Gold, Eisen und Nickel innerhalb einer Fehlergrenze von ± 1‰ die röntgenographisch ermittelte Gitterkonstante. Da NaCl hygroskopisch ist, wurde die Gitterkonstante von Lithiumfluoridaufdampfschichten an NaCl angeschlossen und zu 4,020 Å ± ½‰ bestimmt. Dieser Wert stimmt innerhalb der Fehlergrenzen mit dem von Straumanis[19]) und Mitarbeitern röntgenographisch gemessenen überein. Lithiumfluoridschichten wurden, da sie unbegrenzt haltbar sind, fortan als Eichfolien benutzt. Mit ihnen wurden unter anderem die Gitterparameter von ZnO*), CuO, Cu_2O, Germanium (Fig. 1), KBr und KCl*) vermessen. Sie ergeben innerhalb der Meßgenauigkeit (± 1‰) den gleichen Wert wie mit Röntgenlicht. Dieses Ergebnis ist im Einklang mit den Experimenten von Boochs, aber im Widerspruch zu den Untersuchungen von Riedmiller[7]) und Finch und Fordham[6]). Der wesentliche Unterschied zwischen diesen Arbeiten scheint uns der zu sein, daß Boochs eine Goldaufdampfschicht als Bezugsnormale

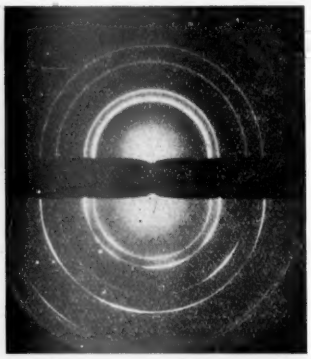

Fig. 2. Gitterkonstantenvergleich von reinem Gold (oben) mit Blattgold (unten). Der größere Durchmesser der Blattgoldringe ist in der Reproduktion deutlich wahrzunehmen.

verwendet, während die anderen Verfasser die übliche in Cyankalilösung dünn geätzte Blattgoldfolie benutzen. Da der Verdacht besteht, daß Blattgoldfolien eine andere Gitterkonstante aufweisen als reines Gold, wird im folgenden ein Gitterkonstantenvergleich zwischen Blattgold und Goldaufdampfschicht durchgeführt (Fig. 2). Schreibt man der Aufdampfschicht eine Gitterkonstante von 4,070 Å zu, so ergibt sich für die Blattgoldfolie 4,045 Å, also ein um 0,6% niedrigerer Wert. Eine röntgenographische Gitterkonstantenbestimmung**) nach der asymmetrischen Methode von Straumanis liefert für dieses Blattgold ebenfalls einen um 0,6% kleineren Wert als für normales Gold. Die chemische Analyse***) weist außer Silber auch einige Prozent Kupfer nach. Blattgold bildet also mit Kupfer und Silber einen Mischkristall, dessen Gitterkonstante stark vom Kupfergehalt abhängt. Dieser Befund ist nicht neu, man findet beispielsweise in technischen Handbüchern[20]) Hinweise wie: „Für die Herstellung von echtem Blattgold dient hochkarätiges Gold, das mit bestimmten Mengen Silber und Kupfer legiert wird."

Die bequeme und schnelle Anfertigung von Blattgoldpräparaten im Gegensatz zu dem bei der Herstellung von Aufdampfschichten in einer Vakuumapparatur erforderlichen Aufwand, mag schuld daran sein, daß Blattgold so häufig als Eichnormale benutzt wurde. Dadurch, daß ihm eine zu hohe Gitterkonstante, nämlich die des reinen Goldes, zugeordnet wurde, sind alle mit ihm verglichenen Substanzen im Gitterabstand zu hoch gemessen worden. Da Blattgold in seiner Zusammensetzung schwankt, ändert sich auch die scheinbare Diskrepanz zwischen röntgenographischer und mit Elektronen ermittelter Gitterkonstante. Riedmiller selbst stellt Vergleichsaufnahmen von verschiedenen Blattgoldproben her, die bereits unter sich Abweichungen bis zu 0,6% aufweisen. Zufällig nimmt er zur Vermessung seiner Aufdampfschichten das Blattgold mit der kleinsten Gitterkonstante und setzt diese gleich 4,070 Å, er macht damit den größtmöglichen Fehler; nur so sind die starken Abweichungen seiner Schichten zu erklären. Trillat und Hirsch[21]) finden ebenfalls an verschiedenen Blattgoldsorten Gitterkonstanten, die um weniger als 1% kleiner sind als von reinem Gold. Die Sauberkeit einer Goldfolie kann man übrigens sehr rasch kontrollieren, indem man die Schicht an Luft erhitzt. Eine Blattgoldfolie liefert dann im Elektronenbeugungsbild Extraringe, die je nach der Temperatur, bei der die Erhitzung stattgefunden hat, dem Cu_2O oder dem CuO zuzuordnen sind*).

Zusammenfassend muß festgestellt werden, daß das Elektronenbeugungsbild dünner Aufdampfschichten von Metallen und von Ionenkristallen die gleiche Gitterkonstante ergibt wie das Röntgendiagramm dieser Stoffe. Es gibt keinerlei Abweichungen zwischen röntgenographisch und mit Elektronen ermittelter Gitterkonstante. Die bisher vorliegenden Unstimmigkeiten wurden dadurch hervorgerufen, daß mit falschem Maßstab gemessen wurde. Eine Änderung des Netzebenenabstandes an der Oberfläche von Kristallen ist also auf diesem Wege ebensowenig nachweisbar, wie an etwas größeren Kristallen mit röntgenographischen Debye-Scherrer-Aufnahmen[23]). Selbst wenn der Abstand der obersten Netzebene von der nächst tieferen 5% größer oder kleiner wäre als im Innern des Kristalls, würde sich der Gitterabstand bei Kriställchen mit 50 Netzebenen im Mittel nur um 1‰ ändern, d. h. innerhalb der Fehlergrenze unseres Verfahrens nicht nachweisbar sein. Vielleicht gelingt es eines Tages, die Kontraktion oder Dilatation im Gitterbau an der Oberfläche eines Kristalles aus dem Brechungseffekt eindeutig zu ermitteln; hierzu wären allerdings noch einige Fragen aufzuklären, die mit dem „inneren Potential" eines Kristalles eng zusammenhängen.

III. Physikalisches Institut der Universität Göttingen.

Hans König.

Eingegangen am 3. April 1948.

*) Für diese Stoffe erhalten Finch und Fordham mit Elektronen 0,5 bis 0,6% höhere a-Werte als mit Röntgenlicht.

**) Die Untersuchung hat Herr Dr. H. Winkler freundlicherweise ausgeführt.

***) Herrn Dipl.-Chem. H. Grosse-Ruyken möchte ich hierfür bestens danken.

*) Auf diese Weise dürften sich auch die Extraringe deuten lassen, die G. I. Finch und Mitarbeiter[22]) von getemperten Goldfolien erhalten.

[1]) Maxwell, L. R., Hendricks, S. B., und Mosley, V. M., Phys. Rev. **52**, 968 (1937).
[2]) Madelung, E., Phys. Zs. **20**, 494 (1919).
[3]) Braunbek, W., Die Naturwiss. **16**, 546 (1928).
[4]) Lennard-Jones, J. E., und Dent, B. M., Proc. Roy. Soc. London (A) **121**, 247 (1928). — Dent, B. M., Phil. Mag. **8**, 530 (1929). — Lennard-Jones, J. E., Zs. f. Krist. **75**, 215 (1930).
[5]) Stranski, I. N., Zs. f. phys. Chem. (B) **136**, 259 (1928).
[6]) Finch, G. I., und Fordham, S., Proc. Phys. Soc. London **48**, 85 (1936).
[7]) Riedmiller, R., Zs. f. Phys. **102**, 408 (1936).
[8]) Cosslett, V. E., Proc. Phys. Soc. London **49**, 121 (1937).
[9]) Boochs, H., Ann. d. Phys. **35**, 333 (1939).
[10]) Hanawalt, J. D., und Ingersoll, L. R., Nature **119**, 234 (1927).
[11]) Raether, H., Zs. f. Phys. **86**, 82 (1933).
[12]) Kranert, W., und Raether, H., Ann. d. Phys. **43**, 520 (1943).
[13]) Schoon, Th., und Haul, R., Zs. f. phys. Chem. (B) **44**, 108 (1939).
[14]) Möllenstedt, G., Optik **1**, 76 (1946).
[15]) König, H., Die Naturwiss. **33**, 367 (1946).
[16]) Thiessen, P. A., und Schoon, Th., Zs. f. phys. Chem. (B) **36**, 195 (1937).
[17]) Stranski, I. N., und Molière, K., Zs. f. Pys. **124**, 421 u. 429, (1948).
[18]) König, H., Die Naturwiss. **33**, 343 (1946).
[19]) Straumanis, M., Ievins, A., und Karlsons, K., Zs. f. phys. Chem. (B) **42**, 143 (1939).
[20]) z. B. Ullmann, Enzyklopädie d. techn. Chemie unter Blattmetallen.
[21]) Trillat, J. J., und Hirsch, Th. v., Zs. f. Phys. **75**, 784 (1932).
[22]) Finch, G. I., Quarrell, A. G., und Wilman, H., Trans. Farad. Soc. **31**, 1075 (1935).
[23]) Straumanis, M., und Ievins, A., Zs. f. Phys. **109**, 728 (1938).

HOLSTEINISCHE WERTARBEIT

Mikro-Präparate
Präzisions-Spiegel
Glasteilungen
Optische Instrumente
J.D. MÜLLER G.m.b.H., WEDEL i. HOLST.

Drehspulinstrumente
KURT HILLERKUS
Meß- und Regeltechnik
KREFELD · Brahmsstraße 86

MIKROPHOTOMETER HARTMANN
mit Objekttisch
für Astrophysikalische, Chemische, Photographische, Petrographische Institute · Jetzt auch für die Photometrierung der Tonspur des Normalkinofilmes.
GRAUKEILE liefert:
PAUL RÜSICKE
Werkstatt für wissenschaftliche Instrumente
POTSDAM, Berliner Straße 127

Seifert-Tetralux
der bekannte
Halbwellen-Diagnostik-Röntgenapparat
Wir empfehlen uns für die Instandsetzung von Röntgen- u. elektromed. Apparaten aller Fabrikate
Rich. Seifert & Co.
Röntgenwerk · Hamburg 13

Elektrotechnische Erzeugnisse
Wobser & Rödel
Frankfurt/Main-Unterliederbach, Roggengasse 2
Herstellung von SPEZIALHEIZGERÄTEN
für bakteriologische und biologische Institute, Photolaboratorien-Tankwärmer usw. Bienenzucht sowie Aquaristik

Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften
Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse
Zunächst erscheinen:
1. Abhandlung: Dozent Dr. **P. Christian.** Die Willkürbewegung im Umgang mit beweglichen Mechanismen. 1948. 1.50 Mark.
2. Abhandlung: Professor Dr. **W. Blaschke.** Zur Bewegungsgeometrie auf der Kugel. 1948. 1.— Mark.
3. Abhandlung: Professor Dr. **P. Uhlenhuth.** Entwicklung und Ergebnisse der Chemotheraphie. 1948. 2.— Mark.
SPRINGER-VERLAG BERLIN GÖTTINGEN HEIDELBERG

Veröffentlicht unter Zulassungs-Nr. 48 der Britischen Militärregierung. - Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Arnold Eucken, Göttingen, Bürgerstraße 50 - Für den Anzeigenteil verantwortlich: Hans-Georg Halfter, Stahnsdorf b. Berlin, Meisenweg 33. - Druck: A. Bagel, Düsseldorf. - Springer-Verlag, Berlin und Göttingen. - Printed in Germany.